



Universitat de Lleida

# TRABAJO FINAL DE GRADO



ESCOLA  
POLITÈCNICA SUPERIOR  
UNIVERSITAT DE LLEIDA  
INSPIRING THE FUTURE

**Estudiante:** Evelyn Ramírez Salas

**Titulación:** Grau en Enginyeria Química

**Título de Trabajo Final de Grado:** Caracterización de muestras de textil para su reciclaje con espectroscopía de infrarrojo medio y módulo ATR

**Director/a:** Puig i Vidal, Rita; Cantero i Gómez, Rosa.

**Presentación**

**Mes:** Juliol

**Año:** 2019

---

## Resumen

El sector textil es un sector productivo muy importante en Europa y cada año pone en el mercado una cantidad elevada de productos de los cuales, actualmente, sólo un pequeño porcentaje es reutilizado o reciclado (menos del 15%). Este punto debe ser mejorado sustancialmente en los próximos años para cumplir con los objetivos promovidos por la economía circular.

En este sentido el presente proyecto pretende comprobar si la espectroscopía de infrarrojo medio sería una buena técnica para clasificar separadamente las distintas fibras textiles y facilitar así su posterior reciclaje. El método a validar sería la combinación de la técnica de FTIR-ATR (para el registro de los espectros de las muestras) y el tratamiento matemático de la matriz de espectros mediante el análisis de componentes principales (PCA).

Concretamente, en este estudio se han recogido, gracias a la colaboración con Fitex, catálogos reales de las fibras textiles más utilizadas en el sector: algodón, lino, lana, seda, poliéster, poliamida, nylon y viscosa. Dichas fibras se clasifican en naturales (algodón, lino, lana, seda) y sintéticas (poliéster, poliamida, nylon, viscosa).

Para poder validar el método de análisis se realizan tres estudios, el primero algodón vs poliéster, para ver si el método permite distinguir perfectamente estas dos fibras de características tan distintas; el segundo de fibras naturales entre sí y el tercero para ver si distingue entre las distintas fibras sintéticas.

Los resultados de este estudio inicial son muy positivos ya que han permitido clasificar correctamente las distintas fibras (excepto nylon y poliamida que probablemente precisarían de un tratamiento matemático supervisado para su correcta clasificación). Estos resultados han asentado la base para una segunda investigación más amplia que permitiera clasificar mezclas con distintas composiciones de fibras y que pudiera llegar a ser cuantitativo.

## Abstract

The textile sector is a very important productive sector in Europe that every year launches into the market a high amount of products among which only a very small percentage is recycled (less than the 15%). This point must be improved in the years to come in order to meet the standards promoted by the circular economy.

This project intends to verify if mid-infrared spectroscopy would be a good technique to separately classify different fibres, facilitating its following recycling process. The method to be assessed is the combination of FTIR-ATR (for the record of spectra from the samples) and the mathematical treatment of the spectra matrix through the principal component analysis (PCA).

More specifically, the following study gathers, thanks to Fitex's collaboration, actual catalogues of the textile fibres most used within the sector: cotton, linen, wool, silk, polyester, polyamide, nylon and viscose. These fibres are classified into natural (cotton, linen, wool and silk) and synthetic (polyester, polyamide, nylon and viscose).

In order to validate the method, three different tests are conducted: first, cotton vs. polyester, so as to check if the method enables to properly distinguish between two fibres with so many different traits; the second, to verify distinction between diverse natural fibres; and third, to confirm discrimination between different synthetic fibres.

The results of this initial study are very positive, since they have allowed correctly distinguishing the different fibres (excluding nylon and polyamide, which should need a supervised mathematical treatment for their proper classification). These results have set the basis for a second and wider research that would enable to classify mixtures with different fibre compositions and that could also develop a quantitative method.

# Índice

<b>RESUMEN .....</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>2</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>7</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>9</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS .....</b>	<b>10</b>
<b>GLOSARIO .....</b>	<b>12</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>13</b>
<b>2. OBJETIVO .....</b>	<b>17</b>
<b>3. FIBRAS TEXTILES.....</b>	<b>18</b>
3.1 Fibra .....	18
3.2 Tejido.....	20
3.3 Características de las fibras textiles .....	20
3.4 Clasificación de las fibras textiles.....	21
3.5 FIBRAS NATURALES.....	23
3.5.1 Algodón .....	23
3.5.2 Lino .....	26
3.5.3 Lana .....	28
3.5.4 Seda .....	30
3.6 FIBRAS ARTIFICIALES Y SINTÉTICAS .....	32
3.6.1 Poliéster.....	33
3.6.2 Poliamida .....	35
3.6.3 Viscosa .....	37
<b>4. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS .....</b>	<b>40</b>
4.1 Métodos analíticos .....	40
4.1.1 FTIR .....	40
4.1.2 ATR .....	42

<b>4.2</b>	<b>Métodos matemáticos .....</b>	<b>44</b>
4.2.1	Análisis multivariable.....	45
4.2.2	PCA: análisis de componentes principales .....	45
<b>5.</b>	<b>PARTE EXPERIMENTAL .....</b>	<b>47</b>
<b>5.1</b>	<b>Estudio 1: Análisis de fibras de algodón y fibras de poliéster .....</b>	<b>48</b>
5.1.1	Registro de los espectros.....	48
5.1.2	Cálculos.....	53
5.1.3	Discusión de resultados estudio 1 .....	60
<b>5.2</b>	<b>Estudio 2: Análisis de fibras sintéticas y artificiales .....</b>	<b>61</b>
5.2.1	Subestudio 2: Relación entre el nylon y la poliamida.....	61
5.2.2	Estudio 2. Registro de espectros .....	66
<b>5.3</b>	<b>Estudio 3. Análisis de fibras naturales .....</b>	<b>73</b>
5.3.1	Registro de espectros .....	73
5.3.2.3	<i>Resultados de PCA: Imágenes</i> .....	76
5.3.3	Discusión de resultados estudio 3 .....	79
5.3.4	Subestudio 3. Análisis entre fibras naturales de origen vegetal (algodón y lino).....	80
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES Y PROPUESTAS DE FUTURO.....</b>	<b>83</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>84</b>
	<b>ANEXO I. CLASIFICACIÓN DE CATÁLOGOS Y CUANTIFICACIÓN DE MUESTRAS.....</b>	<b>86</b>
	<b>ANEXO II. ESTUDIO1: FIBRAS DE ALGODÓN Y FIBRAS DE POLIÉSTER.....</b>	<b>89</b>
	<b>ANEXO III. ESTUDIO 2. FIBRAS SINTÉTICAS: POLIÉSTER, POLIAMIDA Y VISCOSA. ....</b>	<b>94</b>
	<b>ANEXO IV. ESTUDIO 3. FIBRAS NATURALES: ALGODÓN, LINO, LANA Y SEDA.....</b>	<b>101</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Simulación de desintegración de una prenda de vestir.....	14
Fig. 2 Ciclo de vida de materiales textiles .....	15
Fig. 3 Esquema de la iniciativa 'close the loop' basada en la teoría de la Economía Circular.....	16
Fig. 4 Macroestructura de la fibra .....	19
Fig. 5 Microestructura de la fibra .....	19
Fig. 6 Zonas características de la fibra.....	19
Fig. 7 Entrelazado de hilos para formar el tejido .....	20
Fig. 8 Clasificación de las fibras textiles.....	21
Fig. 9 Fases de desarrollo de la fibra, de la flor a la bellota .....	24
Fig. 10 Sección transversal y longitudinal de la fibra de algodón .....	25
Fig. 11 Estructura molecular de la unidad repetitiva de la celulosa .....	26
Fig. 12 Estructura interna de la fibra de la lana .....	29
Fig. 13 Formación helicoidal de la cadena polipeptídica de lana.....	30
Fig. 14 Obsérvese en la figura dos hilos centrales de fibroína cubiertos por una capa de sericina.....	31
Fig. 15 Estructura molecular de las cadenas polipeptídicas de la seda.....	31
Fig. 16 Diagrama del proceso de producción del PET .....	34
Fig. 17 Estructura molecular del PET, unidad repetitiva. ....	34
Fig. 18 Estructura química de la PA 6 .....	36
Fig. 19 Estructura química de la PA 66 .....	36
Fig. 20 Estructura molecular de la viscosa .....	37
Fig. 21 Diagrama de flujo de la obtención de fibras de viscosa .....	38
Fig. 22 Recopilación de fibras textiles estudiadas, descripción BISFA [19] .....	39
Fig. 23 Representación de los rangos de frecuencia donde operan las técnicas espectroscópicas. ....	40
Fig. 24 El paso de un interferograma a un espectro .....	42

---

Fig. 25 Representación esquemática de una sola reflexión ATR.....	43
Fig. 26 Instrumento de espectroscopia FTIR. Utilizado en el Campus Igualada.....	43
Fig. 27 Módulo ATR. Campus Igualada .....	44
Fig. 28 Imágenes del registro de una muestra de hilo .....	49
Fig. 29 Espectros de algodón (r12-hilo y r27-tejido) y poliéster (r49-hilo y r74-tejido).....	52
Fig. 30 Espectros de nylon (r15) y poliamida (r37).....	62
Fig. 31 Espectros de las fibras sintéticas: poliamida (r20), poliéster (r76) y viscosa (r144).....	67
Fig. 32 Espectros de las fibras naturales: algodón, lino, lana y seda.....	75

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de fibras naturales .....	20
Tabla 2 Clasificación de fibras sintéticas .....	20
Tabla 3 Elección de las fibras estudiadas .....	21
Tabla 4 Composición química de la fibra de algodón.....	23
Tabla 5 Composición química de la fibra de lino.....	25
Tabla 6 Composición química de fibras de lana .....	27
Tabla 7 Composición molecular de las fibras de la seda .....	30
Tabla 8 Características de las fibras poliamídicas [17] .....	33
Tabla 9 Nomenclatura identificativa de los registros en IR de las muestras .....	45
Tabla 10 Clasificación de hilos y tejidos del algodón y poliéster por catálogo (ver Anexo I. apdo. A I.I, VI) .....	46
Tabla 11 PCA'S de las matrices del subestudio 1 .....	48
Tabla 12 Frecuencias de banda IR típicas para fibras textiles comunes .....	49
Tabla 13 Modelo de los PCA's de las matrices del estudio 1 .....	51
Tabla 14 Clasificación de hilos y tejidos del nylon y la poliamida por catálogo (ver Anexo I apdo. A I.V) .	59
Tabla 15 Modelo de los PCA's de las matrices del subestudio 2.....	61
Tabla 16 Clasificación de hilos y tejidos de fibras sintéticas por catálogo (ver Anexo I. apdo. A I.V, VI, VII) .....	64
Tabla 17 Modelo de los PCA's de las matrices del estudio 2 .....	66
Tabla 18 Clasificación de hilos y tejidos de fibras naturales por catálogo (ver Anexo I. apdo. A I.I) .....	71
Tabla 19 Modelo de PCA's de las matrices del estudio 3: Fibras naturales .....	74
Tabla 20 Modelo de PCA's de las matrices del subestudio 3: fibras naturales de origen vegetal .....	78



## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Scores para el estudio 1 (modo absorbancia) .....	54
Gráfico 2. Residual vs leverage para el estudio 1 (modo absorbancia) .....	55
Gráfico 3. Varianza explicada para el estudio 1 (modo absorbancia) .....	56
Gráfico 4. Scores para el estudio 1 (modo absorbancia) aumentado del gráfico 1 .....	57
Gráfico 5. Scores para el estudio 1 (modo primera derivada) .....	58
Gráfico 6. Scores para el estudio 1 (modo segunda derivada) .....	59
Gráfico 7. Scores para el subestudio 2 (modo primera derivada) .....	64
Gráfico 8. Scores para el estudio 2 (modo primera derivada) .....	70
Gráfico 9 Residual vs leverage para el estudio 2 (modo primera derivada) .....	71
Gráfico 10 Varianza explicada para el estudio 2 (modo primera derivada) .....	71
Gráfico 11. Scores para el estudio 3 (modo segunda derivada) .....	77
Gráfico 12 Residual vs leverage para el estudio 3 (modo segunda derivada) .....	78
Gráfico 13 Varianza explicada para el estudio 3 (modo segunda derivada) .....	78
Gráfico 14. Scores para el subestudio 3 (modo segunda derivada) .....	81
Gráfico 15. PCA en modo absorbancia fibras de algodón de hilo y tejido .....	90
Gráfico 16. PCA en modo de 1ª derivada fibras de algodón de hilo y tejido .....	90
Gráfico 17. PCA en modo de 2ª derivada fibras de algodón de hilo y tejido .....	90
Gráfico 18. PCA en modo de absorbancia de fibras de poliéster de hilo y tejido .....	91
Gráfico 19. PCA en modo de 1ª derivada fibras de poliéster de hilo y tejido .....	91
Gráfico 20. PCA en modo de 2ª derivada fibras de poliéster de hilo y tejido .....	91
Gráfico 21 Residual vs leverage para el estudio 3 primera derivada .....	92
Gráfico 22 Varianza explicada para el estudio 1 (modo primera derivada) .....	92
Gráfico 23 Residual vs leverage para el estudio 1 (modo segunda derivada) .....	93
Gráfico 24 Varianza explicada para el estudio 2 (modo segunda derivada) .....	93

---

Gráfico 25. Scores para el subestudio 2 (modo absorbancia).....	95
Gráfico 28. Scores para el subestudio 2 (modo segunda derivada).....	95
Gráfico 31. Scores para el estudio 2 (modo absorbancia) .....	98
Gráfico 32 Residual vs leverage para el estudio 2 (modo absorbancia) .....	98
Gráfico 33 Varianza explicada para estudio 2 (modo absorbancia).....	99
Gráfico 34. Scores para el estudio 2 (modo segunda derivada).....	99
Gráfico 35 Residual vs leverage para el estudio 2 (modo segunda derivada) .....	100
Gráfico 36 Varianza explicada para el estudio 2 (modo segunda derivada) .....	100
Gráfico 37. Scores para el estudio 3 (modo absorbancia) .....	105
Gráfico 38 Residual vs. leverage para el estudio 3 (modo absorbancia) .....	105
Gráfico 39 Varianza explicada para el estudio 3 (modo absorbancia).....	106
Gráfico 40. Scores para el estudio 3 (modo primera derivada) .....	106
Gráfico 41 Residual vs. leverage para el estudio 3 (modo primera derivada) .....	107
Gráfico 42 Residual vs. leverage para el estudio 3 (modo primera derivada) .....	107
Gráfico 43. Scores para el subestudio 3 (modo absorbancia).....	108
Gráfico 44. Scores para el subestudio 3 (modo primera derivada) .....	108

## Glosario

<b>IR:</b>	Espectroscopia Infrarrojo
<b>ATR:</b>	Reflectancia total atenuada
<b>FTIR:</b>	Infrarrojo con transformada de Fourier
<b>T%:</b>	Transmitancia porcentual
<b>A:</b>	Absorbancia
<b>PCA:</b>	Análisis de componentes principales
<b>PA:</b>	Poliamida
<b>PL:</b>	Poliéster
<b>VI:</b>	Viscosa
<b>LI:</b>	Lino
<b>LA:</b>	Lana
<b>SE:</b>	Seda
<b>Loadings:</b>	Cargas se correlación
<b>Scores:</b>	Grafica de componentes principales

---

## 1. INTRODUCCIÓN

Los tejidos nacieron junto a la necesidad del ser humano de proteger su cuerpo de las inclemencias meteorológicas, por lo tanto, son tan antiguos como la historia del hombre. Las características más importantes que debía tener un tejido eran, funcional y práctico.

Fue en la época neolítica cuando el hombre descubrió la técnica del tejido, le permitió fabricar su vestimenta sin necesidad de cazar ni sacrificar animales. Empiezan a entrelazar con las manos materiales vegetales diversos que se hallan en su entorno y de esta forma nace la técnica del tejido. Pero la protección del cuerpo no fue la única función de los tejidos, sino que también se elaboraron otros objetos de uso cotidiano.

El notable desarrollo de la producción de fibras textiles y la creciente actividad comercial de éstas, hacen cada día más importante y necesario su fácil reconocimiento y distinción, no solo para el comercio, si no para el reciclaje de los tejidos compuestos de diferentes fibras.

Se puede decir que la sostenibilidad durante los últimos años ha establecido nuevos hábitos de fabricación en la industria ya que están obligados a cumplir con leyes que protegen y velan por el cuidado del medio ambiente.

La evolución tecnológica ha permitido que una variedad de productos se pueda reciclar gracias a la innovación de sistemas adaptados a dichos materiales, con el fin de darles una nueva vida con características y funciones adecuadas. La creación de dichos sistemas de reciclaje se hace necesaria debido al elevado consumo y demanda por parte de la población. No existen todavía sistemas automatizadas de recogida y reciclaje para una gran variedad de productos, entre ellos los productos textiles[1].

### 1.1. RECICLAJE O REUTILIZACIÓN DEL TÉXTIL

Alrededor de 150 millones de toneladas de ropa se venden en todo el mundo, una parte mayoritaria acaban siendo desperdicios en vertederos o muchas veces se incineran en lugar de reutilizar o reciclar[2].

Se consume más de lo que se recicla. Las estimaciones sugieren que aproximadamente el 95 por ciento de la ropa que se tira junto con la basura doméstica, podría ser usado de nuevo y reutilizada o reciclada dependiendo del estado de los tejidos [3].

No se recopilan datos actualizados y completos sobre los volúmenes de desperdicios de ropa usada en todo el mundo. Esta falta de información muestra poco interés por parte de los gobiernos de cada país y una falta de transparencia por parte de la industria de la moda sobre el uso de los recursos y las cantidades desperdiciadas.

En la UE se generan anualmente 1,5-2 millones de toneladas de ropa usada, solo el 10-12 % de la ropa de mejor calidad se revende localmente y es probable que gran parte del resto se exporte a países del Sur. Las cifras de la UE en su conjunto no están disponibles, pero en el Reino Unido se exportan el 70 % de las 540,000 toneladas de ropa que se recolectan para su reutilización. En Estados Unidos se exporta el 53 % (800,000 toneladas)[4].



*Fig. 1 Simulación de desintegración de una prenda de vestir*

En España, cada persona se deshace de siete kilos de ropa al año lo que supone unas 326.000 toneladas anuales, esta cifra es una considerable cantidad de prendas de vestir tanto como el peso de 45.000 coches medianos[5]. La unión europea (UE) a partir del año 2025 obligará a los países que el reciclaje del residuo textil sea equiparable con el vidrio, plástico o cartón.

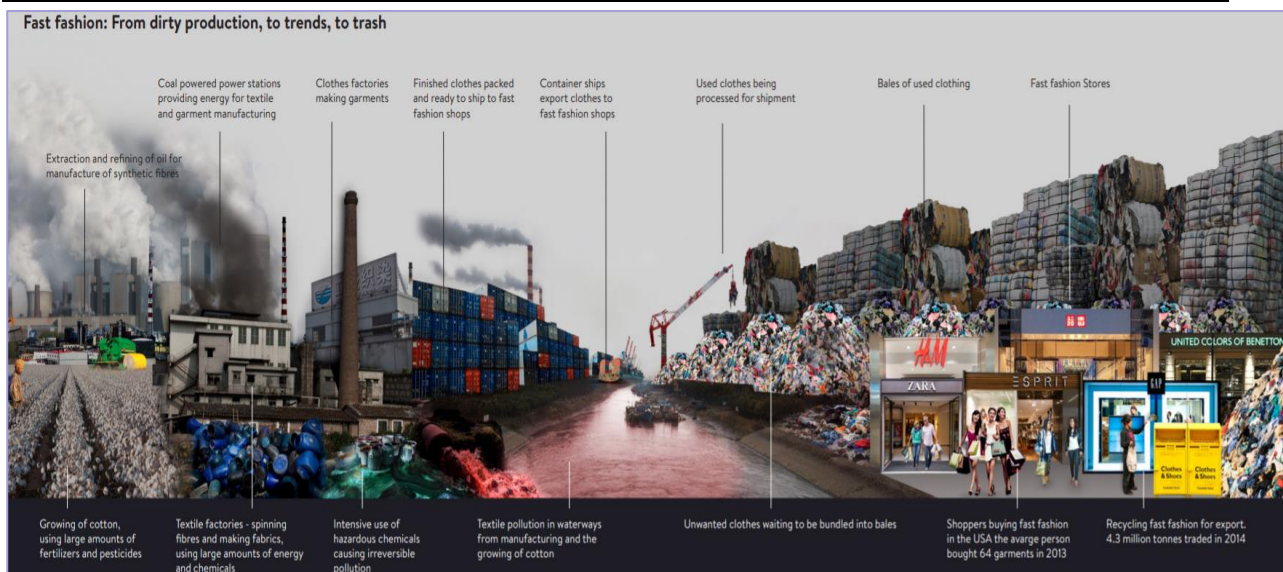
La exportación de ropa usada ha aumentado dramáticamente desde el año 2000, con 4,3 millones de toneladas comercializadas en 2014. Los principales exportadores de ropa usada son Estados Unidos, Alemania, el Reino Unido, Corea del Sur, Japón, Países Bajos, Malasia, Bélgica, China y Francia y los principales importadores son Pakistán, Malasia, Rusia e India, aunque estos pueden no ser los destinos finales. Por ejemplo, grandes cantidades de ropa usada se reprocessan en India y Pakistán y se reexportan a África [6].

Se realiza una considerable contaminación por la elevada demanda, antes se tardaban entre tres y seis meses en crear nuevas temporadas de moda, ahora se tarda una semana. En tan solo siete días las personas pueden disfrutar de cambios de temporada.

Pasar de un modelo lineal (basada en producir, usar y tirar) a un modelo circular para la sostenibilidad de la industria de la moda sería imprescindible y la vida de un producto nos serviría para la elaboración de otro y este para la creación del siguiente, tal y como viene ocurriendo con muchos otros artículos. El objetivo base de este modelo, es diseñar productos que sean utilizados para ser hechos de nuevo.

Con solo aplicar una apropiada gestión en la última parte del ciclo de vida del textil, sería posible reintroducirlo en el mercado, ya sea como prendas de segunda mano o en formas de otros productos. Intentado ser más respetuosos con uno mismo y con la naturaleza.

La siguiente imagen (Fig.2), muestra la trazabilidad de una prenda, el largo viaje del material textil desde la materia prima hasta su eliminación y en algunas ocasiones su reciclaje.



*Fig. 2 Ciclo de vida de materiales textiles*

## 1.2. SISTEMAS DE RECICLAJE ACTUALES

¿Qué pasa realmente con la ropa que ha sido depositada en los puntos de recogida? Es una de las preguntas que muchos se hacen en el momento que deciden dar una nueva oportunidad a sus indumentarias. Nadie sabe con exactitud si son regaladas a diferentes causas benéficas, son vendidas, recicladas o cual será el uso final que se le dará a las diferentes prendas.

Procedimiento:

- **Clasificar:** El recorrido de la ropa, según lo investigado, se basa en la recepción de las prendas por parte de la empresa recicladora. Son indumentarias de todo tipo, desde vestidos hasta trapos de cocina. Se clasifican según material, calidad o aspectos relacionados con cuestiones estéticas. Una vez hecha esta primera clasificación, se comprueba cuáles pueden ser usadas de nuevo y cuáles no. Este proceso se realiza por expertos. Es decir, el operario valora el estado de la ropa y dependiendo de su decisión, esta será reutilizada o reciclada, por tanto, es una parte vital del proceso.
- **Reutilizar:** las prendas que todavía pueden seguir usándose son separadas del resto y posteriormente son vendidas en mercados de segunda mano. Así, estas prendas pueden tener un segundo uso al tiempo que se ahorran recursos y se colabora con el medio ambiente.
- **Reciclar:** el resto de las prendas que ya no sirven para su uso original pasan a ser cortadas en una trituradora gigante y son utilizadas o bien para crear nuevos tejidos como por ejemplo trapos, paños, etc. o bien para crear fibras manufacturadas o para el uso en diferentes campos industriales[7].

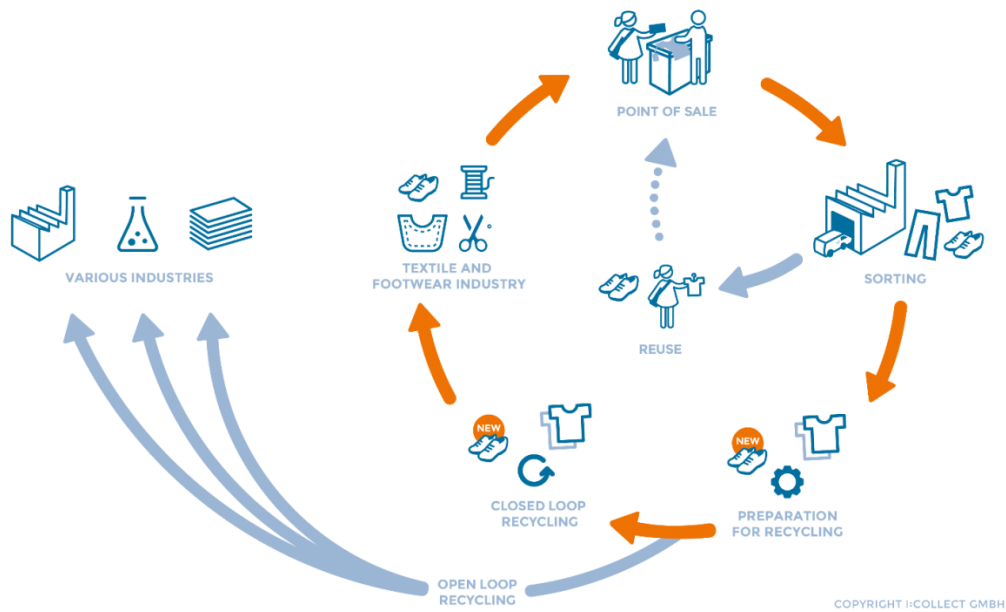


Fig. 3 Esquema de la iniciativa 'close the loop' basada en la teoría de la Economía Circular.

## 2. OBJETIVO

El objetivo general del presente proyecto es determinar si la espectroscopía de infrarrojo (IR) permite distinguir y clasificar bien los distintos materiales textiles para su posterior reciclaje. Si esto se consiguiera permitiría avanzar hacia la automatización del proceso de selección de los distintos materiales textiles que se recogen en un contenedor de residuos.

Concretamente los objetivos más específicos serían:

1. Conocer la estructura química y las características de los distintos productos textiles, al menos de los más utilizados.
2. Analizar las fibras textiles utilizando una técnica instrumental adecuada como es la espectroscopía infrarroja (FTIR-ATR).
3. Observar y analizar si el análisis instrumental de espectroscopia infrarroja es una técnica de caracterización adecuada para la clasificación de los desechos textiles.
4. Crear una base de datos de espectros de IR de una variedad de tejidos.
5. Aplicar el análisis de componentes principales (PCA) para el tratamiento matemático de las matrices de los espectros.



### 3. FIBRAS TEXTILES

Las fibras textiles se caracterizan por tener un diámetro muy pequeño y una longitud mínima de 100 veces su diámetro. Se encuentran en forma cilíndrica o en cinta.

Desde el punto de vista químico, las fibras textiles naturales, sintéticas y artificiales pertenecen al grupo de sustancias denominadas altos polímeros, es decir, son productos macromoleculares orgánicos en cuya constitución molecular se repiten con regularidad ciertos principios estructurales genéricos. Estas sustancias son de elevado peso molecular y sus macromoléculas lineales están formadas por unión, mediante enlaces químicos covalentes, de una o varias unidades básicas denominadas monómeros, formando finalmente un polímero [8].

#### 3.1 Fibra

Las fibras son estructuras unidimensionales con una longitud muy superior a su diámetro, que no supera los 0,05 cm. Presentan excelente resistencia a la tracción en la dirección longitudinal, pero en cambio son débiles a la compresión y se doblan con facilidad. Cada fibra se compone de millones de largas cadenas moleculares definidas cada una por su estructura química. Su estructura molecular, así como su morfología, afectaran a sus propiedades, pero la primera será la que determine su naturaleza física y química[9].

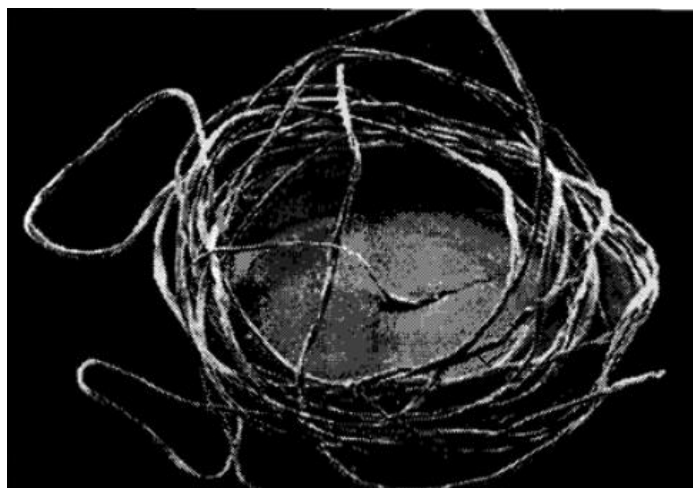
La fibra pasa por un proceso de hilado para poder ser útil. Para que el hilo adquiera resistencia, se le da torsión (número de vueltas por minuto), a la vez que evita que las fibras se deslicen unas sobre otras. Un hilo con poca torsión es muy elástico y poco flexible pero poco resistente, mientras que con mucha torsión es más delgado y resistente pero menos elástico.

El término fibra puede aplicarse a sustancias animales, vegetales o minerales, existen variedades de fibras naturales y sintéticas. La unión de fibras entrelazadas entre ellas, ya sea de la misma clase o combinación de diferente tipo, forman el tejido.

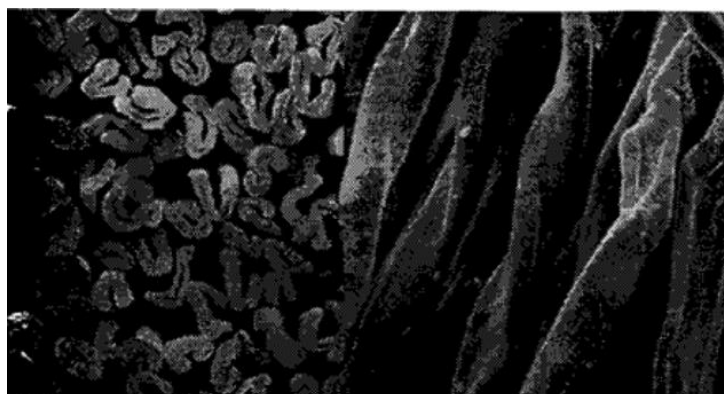
#### MORFOLOGÍA DE UNA FIBRA

La morfología de una fibra se estudia en tres niveles:

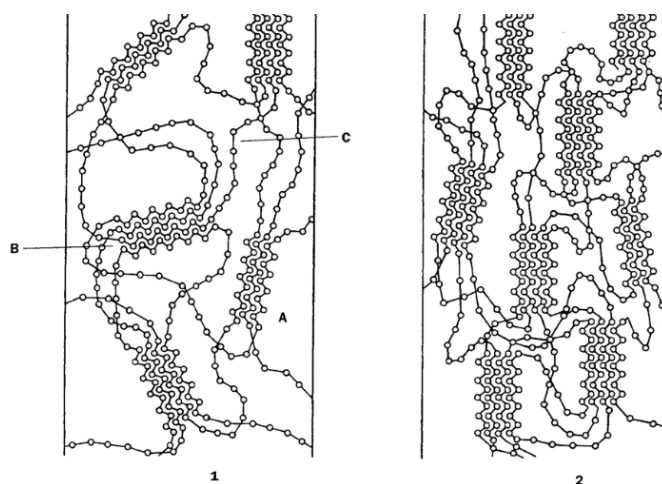
- Macroestructura: Corresponde a las características visibles por el ojo humano o con ayudas ópticas, como la longitud, la finura, el color o el rizado de la fibra (Fig.4).
- Microestructura: corresponde a las características visibles a través del microscopio (Fig.5).
- Estructura fina: en este nivel, se describen la ordenación y la longitud de las cadenas poliméricas que forman la fibra, su grado de orientación y la cristalinidad. La figura presenta las zonas características que posee la fibra (Fig.6).
  - A. Zona vacía
  - B. Zona cristalina
  - C. Zona amorfa



*Fig. 4 Macroestructura de la fibra*



*Fig. 5 Microestructura de la fibra*



*Fig. 6 Zonas características de la fibra*

## 3.2 Tejido

Material que resulta del enlace de dos series de hilos (urdimbre y trama) que se entrecruzan perpendicularmente, formando una superficie resistente, elástica y flexible.

- Urdimbre: Serie de hilos tensados y dispuestos en sentido longitudinal a lo largo de toda la longitud del tejido, que quedan paralelos a los límites laterales del tejido.
- Trama: Hilo o hilos que se disponen transversalmente de lado a lado de la pieza del tejido, y se entrelazan con los hilos de la urdimbre[10].

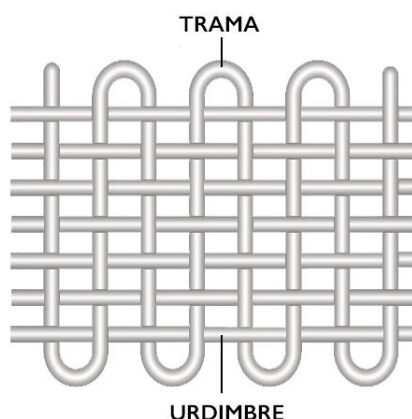


Fig. 7 Entrelazado de hilos para formar el tejido

## 3.3 Características de las fibras textiles

Para que una fibra sea considerada textil debe cumplir unas características imprescindibles, da igual el origen (vegetal, animal, sintética):

- Flexibilidad
- Elasticidad
- Resistencia

Son características que las diferencias de otras fibras, sin estas tres condiciones no pueden ser utilizadas. Sin unas fibras adecuadas, los artículos requeridos no podrían llevarse a cabo. La fibra contribuye al aspecto, tacto, visión, etc. Ellas determinan el grado de operaciones que requiere el producto y su valor de coste.

### FLEXIBILIDAD

Es indispensable que una fibra sea flexible, debe soportar repetidas flexiones a lo largo de su vida útil. Sería imposible convertir las fibras a hilos sin una buena flexibilidad. Además, el grado de flexibilidad

determina la facilidad con la cual los tejidos podrán ser doblados y esto influirá en la durabilidad de la prenda. Existen sustancias naturales que tienen forma de fibra, pero solo por el hecho de ser duras y quebradizas no pueden ser usadas como fibras textiles.

## ELASTICIDAD

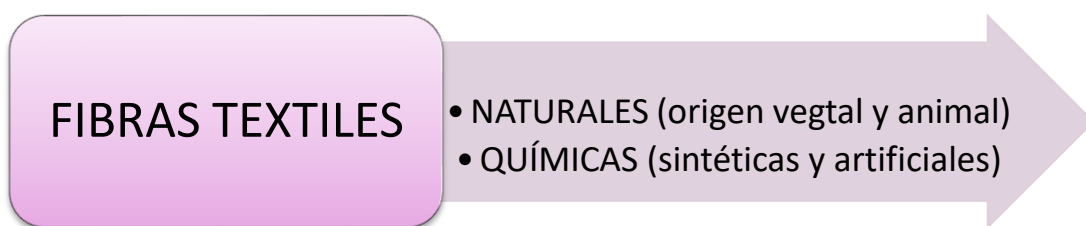
No se debe confundir elasticidad con alargamiento de ruptura. La elasticidad es la capacidad para recuperarse de una deformación y el alargamiento de ruptura es la cantidad que puede alargarse una muestra antes de romperse. Por lo tanto, es de gran valor que los tejidos tengan elasticidad por que facilita la tejeduría, aumenta la duración del material y es de gran importancia en los procesos de acabado.

## RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

Es importante que las fibras textiles posean una adecuada resistencia a la tracción, debido a que, debe soportar los trabajos y procesos en las maquinas tanto de hilatura como de tejeduría.

### 3.4 Clasificación de las fibras textiles

Las fibras utilizadas para la confección de artículos textiles tienen diferentes orígenes y se clasifican en función de su procedencia en dos grandes grupos y la diferencia de las fibras se presentan en los productos utilizado.



*Fig. 8 Clasificación de las fibras textiles*

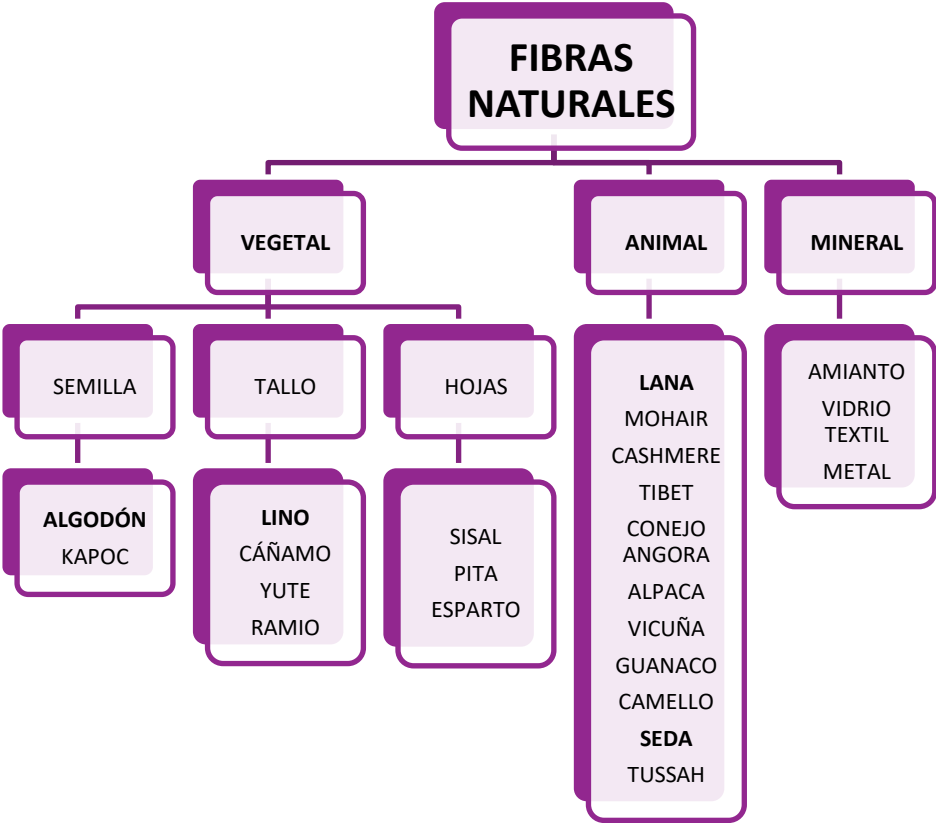


Tabla 1 Clasificación de fibras naturales



Tabla 2 Clasificación de fibras sintéticas

## FIBRAS ESTUDIADAS

Siendo relativamente considerable el número de tipos de fibras destinadas a la producción textil, en esta investigación no se van a estudiar todas, sino solamente aquellas más utilizadas por el sector textil para ropa de vestir. Las fibras estudiadas son las que se muestran en la Tabla 3. Las fibras artificiales provienen de la transformación de productos naturales y las fibras sintéticas proceden de polímeros sintéticos.

<b>FIBRAS NATURALES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• VEGETALES. Algodón y lino.</li> <li>• ANIMALES. Lana y seda.</li> </ul>
<b>FIBRAS QUÍMICAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SINTÉTICAS. Poliéster y poliamida.</li> <li>• ARTIFICIALES. Viscosa.</li> </ul>

Tabla 3 Elección de las fibras estudiadas

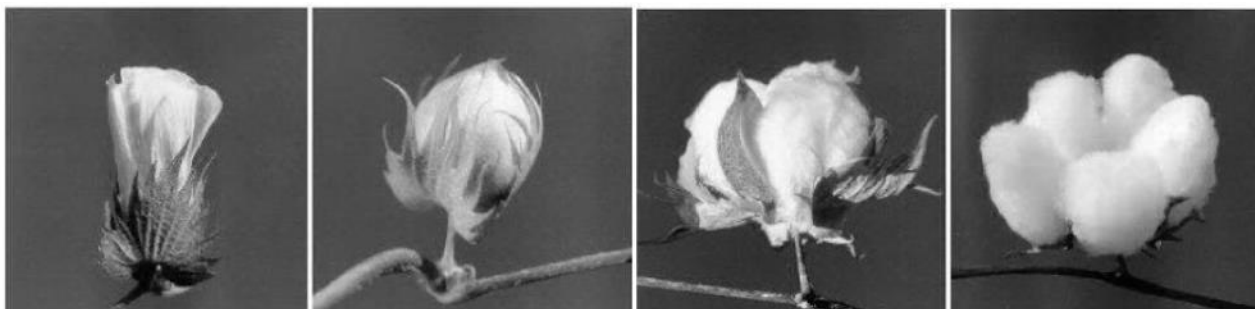
### 3.5 FIBRAS NATURALES

Son fibras que se encuentran en la naturaleza, pueden ser de origen vegetal o animal. Son extraídas por procesos físicos o químicos. A continuación, se describen las estudiadas en este trabajo.

#### 3.5.1 Algodón

Es la fibra textil natural más usada globalmente, la fibra de algodón es el protagonista principal de la industria textil mundial. Destaca por su versatilidad en la industria de la moda, por ejemplo, en ropa de punto y en el textil de hogar. Los tejidos de algodón son confortables y de tacto suave, con buena conducción del calor y con una propiedad que la hace más útil la absorbencia, es decir, es perfecto para utilizarlo en prendas que están contacto con la piel en cualquier época del año.

El algodonero (*Gossypium*) es una planta malvácea cultivada en zonas tropicales (América, Egipto y la India), está formado por semillas envueltas por una borra pelosa, que constituye el algodón. Estos pelos o fibrillas tienen una longitud de 1 a 5 cm. Las fibrillas medianas y largas son aptas para hilar, en cambio las pequeñas se utilizan para la fabricación del rayón [8].



*Fig. 9 Fases de desarrollo de la fibra, de la flor a la bellota*

## CARACTERÍSTICAS

Una característica muy importante del algodón es su longitud, se mide en pulgadas o en fracciones de pulgada. Los algodones largos, que son los más finos, son los más apreciados. Se entiende que un algodón es corto cuando su longitud es inferior a 2,54 cm. Su finura se expresa con el índice micronaire. Un algodón con un micronaire de 3 significa que una pulgada de esta fibra tiene una masa de 3 microgramos. Mientras más alto es el micronaire más grueso es el algodón y si los índices son inferiores a 3 corresponden a algodones muy finos. Entre 3 y 5 encontramos los algodones de finura y media y los superiores a 5, algodones gruesos[11].

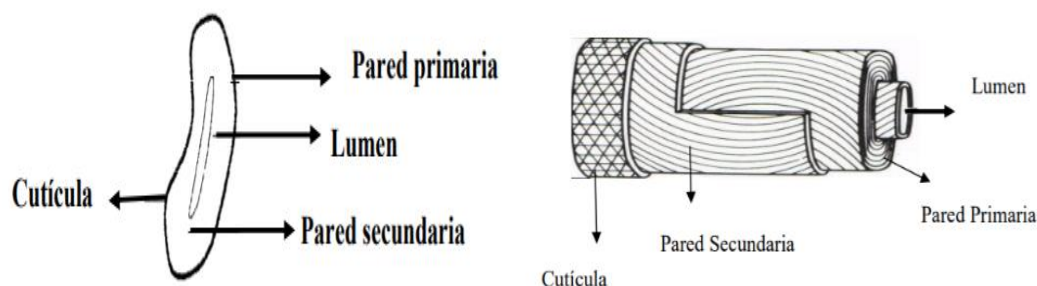
La madurez del algodón tiene una relación directa con su capacidad para absorber pigmentos, de este modo, aquellos algodones poco maduros darán problemas en la tintura debido a su escasa afinidad por los colorantes. Los algodones blancos son los más cotizados, mientras que aquellos con un color amarillo desmerece su calidad.

El algodón es una fibra altamente hidrófila, lo que quiere decir que absorbe el agua con facilidad. Su recuperación elástica es deficiente, lo cual provoca que los tejidos de algodón se arruguen con facilidad. Al mojarse, gana en tenacidad y pierde rigidez. Permite altas temperaturas y una fuerte acción mecánica. Es resistente a los álcalis y los agentes oxidantes, sin embargo, es muy sensible a los ácidos. Arde con facilidad y rápidamente.

La capacidad de esta fibra para gestionar la humedad hace que los tejidos de algodón apenas se carguen de electricidad estática y se ensucien menos, debido a la menor atracción del polvo por la carga estática. Poseen un peso específico elevado, por lo que las prendas, en igualdad de condiciones técnicas, resultan más pesadas que otros artículos confeccionados con fibras de menor peso específico. No es una fibra muy resistente al desgaste por abrasión y por ello suele mezclarse con poliéster.

## MORFOLOGÍA

Sus fibras tienen forma helicoidal, torcidas alrededor de su eje, son tubos cilíndricos, transparentes, abiertos en algunos puntos son fibras de estructuras de rejilla. Está formada por una cutícula, una pared primaria, una pared secundaria y un espacio vacío llamado lumen. La fibra llega a crecer hasta su longitud completa [11]. Su longitud puede llegar a los 6 cm, aunque las longitudes habituales suelen estar entre 2,5 y los 3 cm.



*Fig. 10 Sección transversal y longitudinal de la fibra de algodón*

## COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CELULOSA

Las fibras del algodón están compuestas principalmente y casi en su totalidad por celulosa, también contienen cantidades variables de otros productos, como pectinas, hemicelulosas, grasas, agua [11].

Materia	Porcentaje
Celulosa	80 – 90
Agua	6 -8
Ceras y grasas	0,5 – 1
Proteínas	0 – 1,5
Pectinas	4 – 6
Cenizas	1 – 1,8

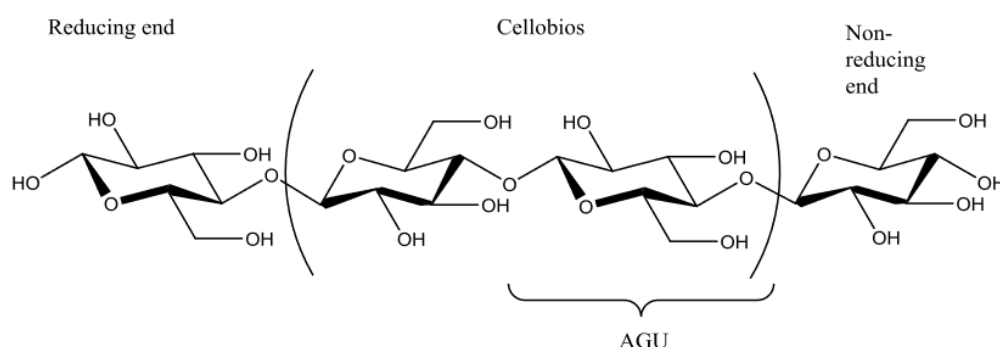
*Tabla 4 Composición química de la fibra de algodón*



Las fibras de celulosa tienen una característica que se ha de mencionar y es el empaquetamiento paralelo longitudinal de sus largas cadenas macromoleculares. Su insolubilidad en agua se debe a sus enlaces formados por puentes de hidrógeno entre los grupos OH de las moléculas vecinas, ya que, si los OH no están libres no pueden ser solvatados. Pero, el agua puede llegar a penetrar entre los espacios interfibrilares produciendo una hinchazón de la fibra de celulosa.

## ESTRUCTURA QUÍMICA DE LA CELULOSA

La celulosa es un polisacárido formado por a partir de monómero B-D-glucopiranososa también llamado unidad de anhidroglucosa (AGU). Los monómeros están unidos por enlaces 1,4-glicosídicos para formar la unidad repetitiva de celulosa, cellobios. El polímero de la celulosa se termina con un extremo reductor y otro no reductor. La AGU terminal en el extremo reductor es más reactiva, es un hemiacetal cíclico que se encuentra en equilibrio con el aldehído. El extremo no reductor no es tan reactivo y siempre tiene una estructura de anillo cerrado[11].



*Fig. 11 Estructura molecular de la unidad repetitiva de la celulosa*

### 3.5.2 Lino

Es, probablemente, la primera fibra que se utilizó en Occidente. Se han encontrado restos de tejidos con una antigüedad de aproximadamente 7.000 años a.C.

La planta del lino (*Linum usitatissimum*) crecía en zonas templadas, en lugares específicos de Europa. El cultivo de lino necesita una tierra homogénea y luz diurna, noches cortas y frescas y un clima templado y húmedo. Fue una de las primeras en cultivarse, hilarse y tejerse para la producción textil. Existen diferentes tipos de lino, el común y el perenne, sus fibras tienen una longitud de 20 a 90 cm [8].

Los hilos finos de lino se obtienen a partir de cintas peinadas y tratadas en un baño alcalino para disolver las materias orgánicas. Normalmente se mezclan con seda, obteniendo tejidos más brillantes, suaves y con mejor caída. También con algodón, viscosa, acrílico y poliéster.

## CARACTERÍSTICAS

Es considerada una de las fibras vegetales más fuerte de la naturaleza. Es una fibra con alta resistencia mecánica, pero poco elástica. Esto hace que se arrugue con facilidad, pero su suavidad aumenta con el lavado. Al absorber, liberar el agua rápidamente y al ser un excelente conductor térmico sus tejidos son frescos. Se trata de una fibra de verano, con una excelente capacidad para absorber la humedad y proporcionar sensación de confort. Las fibras de lino proporcionan tejidos con muy buena caída y de fácil cuidado. Es una fibra biodegradable.

## MORFOLOGÍA

El diámetro de sus fibras es regular, tubos rectos de longitud muy larga, tiesos, cilíndricos, separados con nudos característicos. Puntas agudas, cortes poligonales con un punto negro en el centro, fibras lisas, con brillo y nula elasticidad. Según su procedencia y clase de enriado tiene un color blanquecino, amarillo o gris claro.

## COMPOSICIÓN QUÍMICA

Al igual que el algodón, se compone principalmente de celulosa, es capaz de absorber hasta un 20% de agua sin que ello provoque un tacto a húmedo.

Materia	Porcentaje %
Celulosa	75
Pectina	5
Proteínas	3,5
Grasas	2,5
Cenizas y residuos	5
Sustancias solubles al agua	9-10

*Tabla 5 Composición química de la fibra de lino*

### 3.5.3 Lana

La lana se utiliza en prendas exteriores como abrigos, complementos y sastrería de mujer y hombre. Aunque para artículos de verano se encuentran la lana fría o el tejido conocido con el nombre de fresco y multitud de posibles mezclas con seda, algodón y fibras químicas como la viscosa o el poliéster, para prendas de entretiempo y calidades finas. La fibra de la lana también es aplicada a los sectores de deporte, textil-hogar, medicina, aviación, textiles inteligentes o indumentaria de protección.

Es la fibra de origen animal más utilizada en la industria textil, procede principalmente de la oveja y carnero. La calidad de la lana depende de diversos factores como la salud, la cría y los cuidados de los animales, también depende del clima y la alimentación de estos animales. Se diferencian entre dos principales categorías:

- Carnero de las montañas: lana corta y algo fina. Por ejemplo, la lana de merino
- Carnero de llanuras: fibras largas, toscas y similares al pelo. Procedentes de los montes de Alemania

#### CARACTERISITICAS DE LAS FIBRAS DE LANA

Sus fibras tienen una composición histológica más complicada que la del algodón. Son fibras proteínicas naturales cuyos componentes principales son las escleroproteínas fibrilares, queratina y fibroína, respectivamente. Estas proteínas son simples, insolubles en medios acuosos y poseen una característica, su alta resistencia mecánica y química [8].

Son fibras curvilíneas orgánicas compuestas interiormente de una sustancia medular y en la parte exterior compuesta por una membrana epitelial, es decir son una especie de láminas muy finas que se cubren unas a otras en forma de tejas o escamas. Son transparentes y de diámetro regular. También se caracterizan por que sus fibras son rizadas, elásticas, de tacto suave y sobre todo absorben fácilmente la humedad, con un índice de liberación de calor extremadamente baja.

#### MORFOLOGÍA

El diámetro de las varía entre 14 y 45 micras. Está compuesta por tres capas, cuticular (exterior), cortical (entre) y medula (interior).[12]

- Cuticular. - Esta capa es exterior y está formada por células poligonales superpuestas, es decir en forma de escamas. Pero a su vez está compuesta de tres subcapas, epicutícula, exocutícula y endocutícula. La capa más compleja es la primera debido a que impide la entrada de colorantes, en cambio es sensible a los tratamientos mecánicos.
- Cortical. - Es la parte mayoritaria de la fibra, sus células están compuestas por queratina y su estructura está formada por macro y microfibrillas. Fibrillas compuestas por cadenas polipeptídicas. Estas proteínas se diferencian por su grado o nivel de azufre
- Médula. – Esta capa solamente la tienen las lanas gruesas y están exentas las lanas finas.

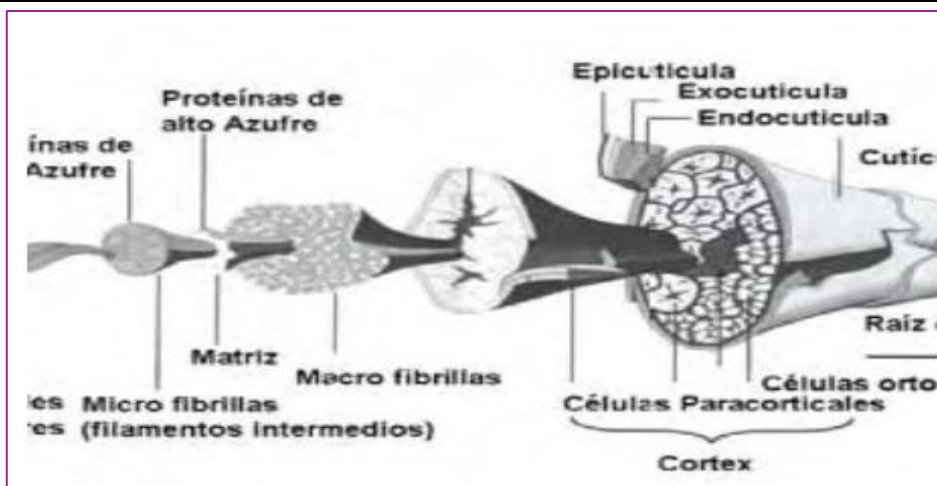


Fig. 12 Estructura interna de la fibra de la lana

### COMPOSICIÓN QUÍMICA

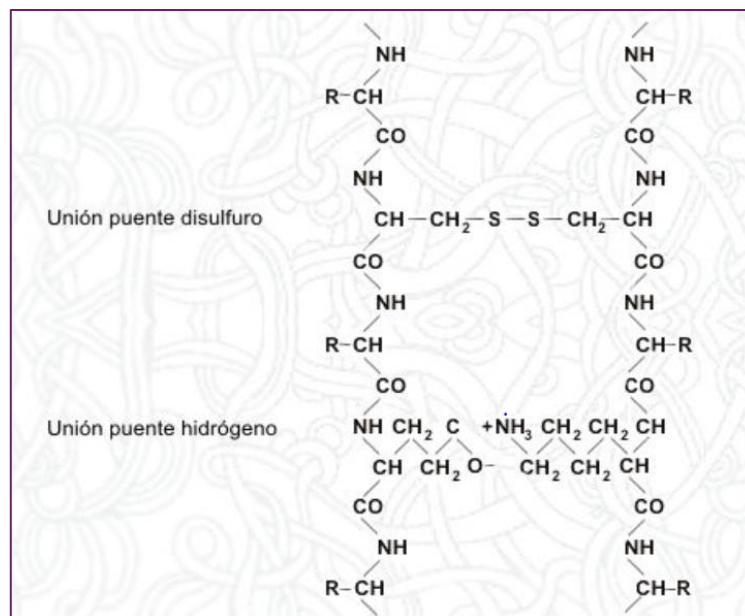
Posee un conjunto de macromoléculas, principalmente la queratina. La estabilización de la queratina se crea gracias a enlaces de disulfuro, salinos y de hidrogeno. El análisis químico de la lana es de un 3% a un 5% de azufre[12]. Dichos porcentajes dan a conocer la cantidad de aminoácidos azufrados. Cada animal transforma el 10% de su proteína natural en queratina.

Materia	Porcentaje%
Carbono	50
Hidrógeno	7
Oxígeno	22
Nitrógeno	17
Azufre	3 - 4

Tabla 6 Composición química de fibras de lana

Como ya se había comentado anteriormente las queratinas se caracterizan por tener un alto contenido de sulfuro. Poseen una gran cadena de aminoácidos, como, por ejemplo, la cistina la cual define muchas de las características de lana.

Es la cistina la que posee puentes disulfuro -S-S- en su estructura, jugando un papel fundamental en la unión de las cadenas polipeptídicas, siendo el componente de la estabilidad de las fibras de la lana. Los enlaces salinos y los puentes de hidrogeno ofrecen una configuración helicoidal de la cadena polipeptídica en los grupos CO y NH dando estabilidad a la proteína[10] , como se puede apreciar en la siguiente figura:



*Fig. 13 Formación helicoidal de la cadena polipeptídica de lana*

## LANA REGENERADA

Este tipo de lana también llamada lana artificial proviene de los desechos o desperdicios cardados de las mermas resultantes de los géneros viejos. En la actualidad se tejen y se hilan en grandes cantidades sustituyendo a las nuevas lanas. Se les proporciona un tratado físico químico imprescindible para poder ser nuevamente utilizado.

Está claro que el color de este tipo de lana no es uniforme y sus fibras se ven mezcladas con otras fibras, como seda, algodón, etc. Son fibras de diámetros irregulares, carecen de escamas epidérmicas, perdiendo su forma y regularidad.

### 3.5.4 Seda

La seda es el producto proteínico producido por la secreción del gusano *Bombyx mori*. El proceso de extracción de la seda es fundamentalmente manual, y el hilado y transformación textil puede realizarse industrial o artesanalmente. Las tierras más propicias para la crianza de la seda son regiones cálidas con una altitud máxima de 100 metro y temperaturas medias de entre 16 y 25°C. En las regiones frías también se puede obtener cultivos de seda, pero de menor calidad[13].

## CARACTERÍSTICAS DE LAS FIBRAS

Fibras cilíndricas, pero algo aplastadas en algunos puntos, son transparentes, de diámetro uniforme. Los filamentos de seda son finos, sutiles, brillantes y de una suavidad peculiar, que se distinguen tanto de las fibras vegetales como de las fibras animales. El color en estado natural varía entre blanco gris, amarillento o nacarado. Es muy resistente a la tracción con poca o nula elasticidad, es muy brillante debido a la estructura de prisma triangular con la que está constituida la fibra.

## MORFOLOGÍA

La secreción líquida se va dosificando al aire, dando finalmente una fibra enrollada de 1000-3000 m de longitud [8]. Está formada por un doble hilo de fibroína envuelto por una capa de sericina. El brillo característico de la seda la proporciona la fibroína, pero la sericina hace que la fibra sea dura y carezca de brillo. Por lo que se requiere eliminar esta capa, la sericina es soluble en agua, utilizando baños calientes jabonosos se consigue eliminar esta capa sin llegar a atacar a la fibroína gracias a su insolubilidad en agua[13].

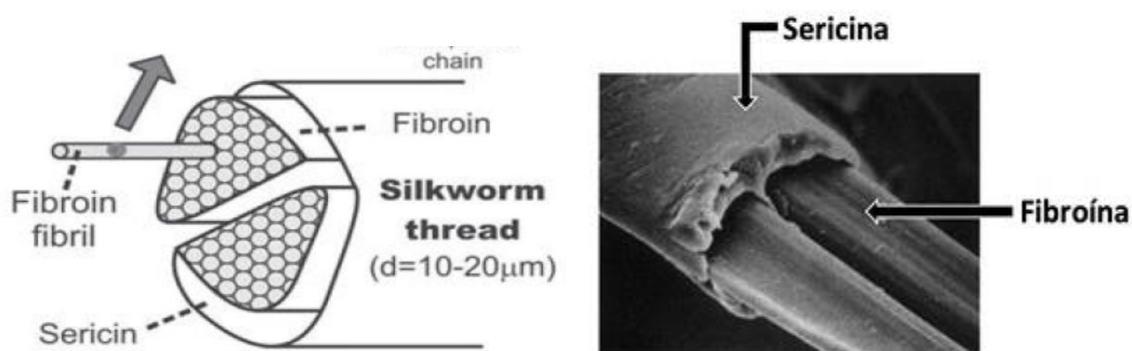


Fig. 14 Obsérvese en la figura dos hilos centrales de fibroína cubiertos por una capa de sericina

Los estudios realizados sobre la estructura de la fibroína permiten conocer la existencia de un enrejado cristalino compacto con largas cadenas polipeptídicas orientadas de forma longitudinal. Los estudios de polarización demuestran que los grupos NH en su mayoría están situados perpendicularmente al eje de la fibra, como en la queratina beta [8].

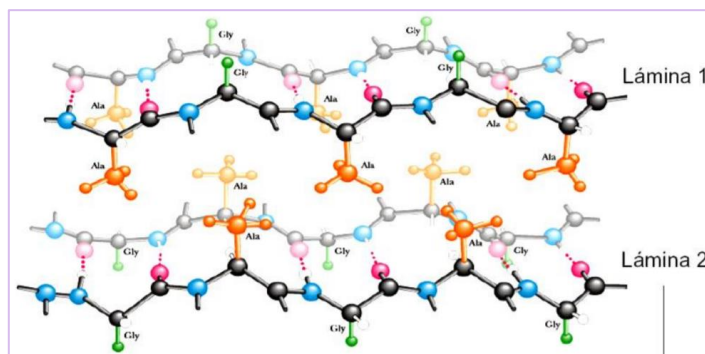


Fig. 15 Estructura molecular de las cadenas polipeptídicas de la seda

## COMPOSICIÓN QUÍMICA

La seda es una sustancia química constituida básicamente por la Fibroína. El porcentaje de fibroína es del 75 %, un 23 % de sericina y un 2 % de grasas, pigmentos y sustancias minerales.

La fibroína está compuesta principalmente de glicina, alanina y tirosina. En comparación con la queratina de la lana, la fibroína de la seda no tiene cistina y su contenido en diaminoácidos y aminodiácidos es mucho menor.

Materia	Porcentaje%
Carbono	48
Hidrógeno	6,5
Oxígeno	26,7
Nitrógeno	18,3

*Tabla 7 Composición molecular de las fibras de la seda*

### 3.6 FIBRAS ARTIFICIALES Y SINTÉTICAS

Son aquellas fibras producidas en la industria química a través de procesos químicos de polireacción a partir de sustancias de bajo peso molecular por vía puramente sintética, es decir, in vitro, sin intervención de la naturaleza[8]. Las **fibras artificiales** vienen dadas por la transformación de productos naturales y las **fibras sintéticas** proceden de polímeros sintéticos.

La materia prima utilizada para obtención de **fibras sintéticas** son el carbón, el petróleo y gases naturales. De ellos se obtienen por procesos físico-químicos las sustancias orgánicas monómeras que sirven de punto de partida para obtener las fibras sintéticas[8]. Así, de la brea de hulla se obtiene el estireno, la caprolactama y el ácido tereftálico.

Las fibras sintéticas pertenecen al grupo de las materias termoplásticas. Para su obtención son indispensable los altos polímeros lineales o poco ramificados, ya que las macromoléculas tridimensionales son duras y rígidas, por esta razón son inadecuadas para fines textiles por la dificultad de su hilatura. Pero tampoco cualquier polímero lineal es apto para su elaboración en fibras, ya que éstas deben poseer ciertas características tecnológicas, como elasticidad, alargamiento, fácil pigmentación, estabilidad a los agentes químicos, resistencia a la tracción, al pliegue y al roce, que no poseen todos los productos macromoleculares lineales[8].

El grado de polimerización de las materias termoplásticas debe quedar, para cada tipo de fibra sintética, dentro de ciertos límites que no puedan ser sobrepasados sin perder sus cualidades textiles. Si se sobrepasa o se disminuye el grado de polimerización las fibras presentan desventajas como fibras textiles.

Las fibras sintéticas, a consecuencia del estiramiento y tensión al que son sometidas durante la fabricación, presentan zonas amorfas y zonas cristalinas formadas por agrupación paralela de las macromoléculas lineales, orientadas por las fuerzas directrices. Estas zonas cristalizadas, de alto grado de ordenación, son las que dan consistencia a la fibra[14].

Los polímeros fibrilares sintéticos se pueden obtener por tres distintos tipos de polireacción: polimerización, policondensación y poliadición. Por policondensación se obtienen las fibras de poliéster y poliamida, son las fibras de mayor importancia técnico-textil.

### 3.6.1 Poliéster

Se pueden emplear solas para confección de tejidos y géneros de punto, y también en mezclas con la lana para vestidos, trajes pantalones, abrigos o con algodón para tejidos ligeros como camisas, blusas, ropa interior, camisones, etc.

Estas fibras, junto con las acrílicas y las de poliamidas, constituyen las fibras sintéticas más importantes de la industria textil. En el año 1940 se obtuvieron las primeras fibras utilizables de poliéster a partir de etilenglicol y ácido tereftálico o del éster dimetílico[15]. Años más tarde se suministraron por primera vez al mercado fibras de poliéster de esta composición, es decir de tereftalato polietilenglicol. El motivo de que estas fibras se hayan extendido se debe al gran número de propiedades extraordinarias que posee para su aplicación textil.

## CARACTERÍSTICAS DE LAS FIBRAS DE POLIÉSTER

Las fibras de poliéster son elásticas y muy resistentes a la tracción y al roce, acercándose a los valores mecánicos de las fibras de poliamida. Son muy estables a la luz, a los ácidos oxidantes y disolventes, pero muy poco estable a las bases, las cuales, concentradas y en caliente, actúan saponificando el poliéster. Los textiles de fibra de poliéster son ligeros, fáciles de lavar, secan rápidamente y no perjudican en el aspecto fisiológico a la persona que los lleva[15].

## MORFOLOGIA

La fibra de poliéster rápidamente enfriada es de naturaleza no cristalina y que la cristalinidad se desarrolla en el estirado. La fibra posee un rizado térmicamente fijado, es obtenida filamentos en continuo y fibras cortadas se pueden utilizar en la fabricación de casi la totalidad de las prendas de vestir.



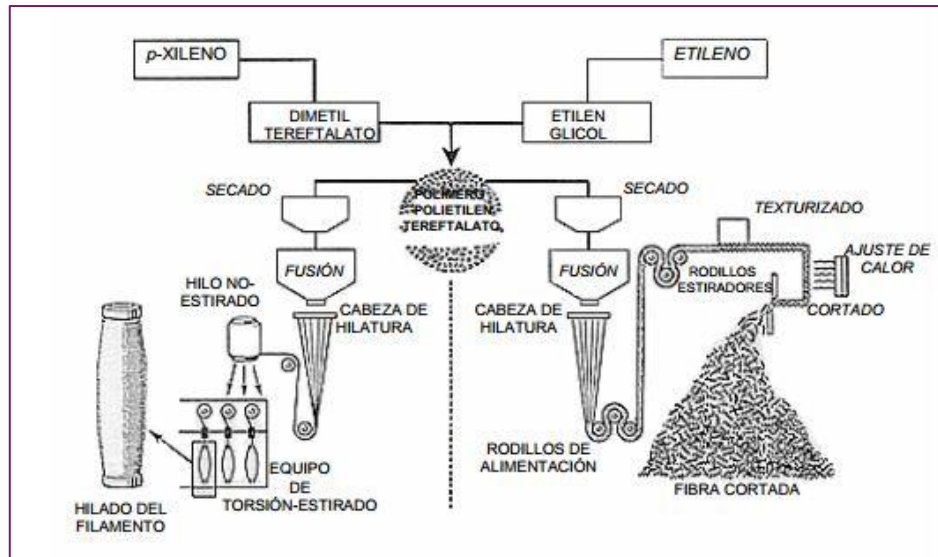


Fig. 16 Diagrama del proceso de producción del PET

## ESTRUCTURA QUIMICA

Los principales poliéster lineales para fines textiles son los polietilentereftalatos, se obtienen por transesterificación y condensación del dimeléster del ácido tereftálico con dietilenglicol [16]. No se parte directamente del ácido tereftálico, ya que por su insolubilidad resulta difícil la esterificación con glicol. Se obtiene primero el dimeléster tereftálico y luego se efectúa la transesterificación con exceso de glicol[8].

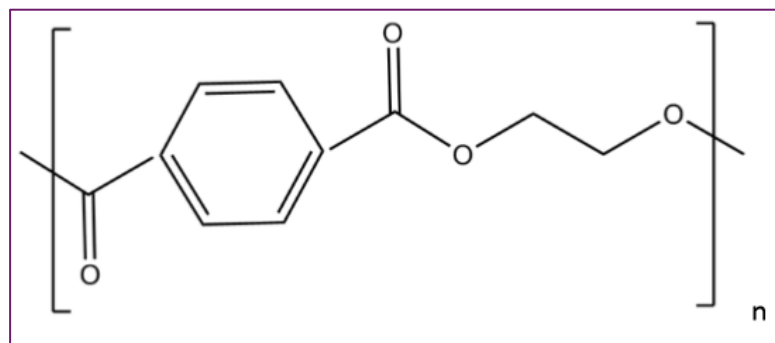


Fig. 17 Estructura molecular del PET, unidad repetitiva.

La combinación de un ácido con un alcohol recibe el nombre de éster. En estos productos, los grupos éster están incorporados como puentes de enlace en las cadenas macromoleculares. En cambio, los ésteres de la celulosa no se consideran como poliésteres, ya que en ellos los grupos éster se encuentran en las cadenas laterales[15].

### 3.6.2 Poliamida

La poliamida (PA) es de gran importancia en la industria textil, se emplea principalmente en la fabricación de calcetines, ropa interior delicada, camisas de hombre que no necesitan de planchado, abrigos, gabardinas y como hilos de mezclas para reforzar a los hilos de lana o algodón. También se utilizan en artículos industriales, tales como cuerdas redes de pesca, toldos, filtros y neumático para automóviles y aviones. También se fabrican otros artículos comerciales como, por ejemplo, cortinas, alfombras e imitaciones de pieles.

#### ORIGEN

Se pueden obtener por dos procedimientos diferentes, que conducen a dos tipos distintos de poliamidas. Uno de ellos consiste en la policondensación de diaminas con ácidos dicarboxílicos y el otro método consiste en la autopolicondensación de  $\omega$ -aminoácidos (o sus lactamas). En los dos procedimientos se requiere el contenido de grupos metilos, si el número de grupo metileno es menor no se produce condensación suficiente para dar productos de importancia textil. Su materia prima es la sal de nailon o caprolactama [17], por esta razón a la poliamida se la conoce como nylon. Existen varios tipos de poliamida y se nombran según el número de átomos de carbono que existen en las moléculas de la materia prima del que procede el nailon. Las poliamidas más importantes en la industria textil son la poliamida 6 (PA 6), la poliamida 66 (PA 66) y la poliamida 11 (PA11)[18].

	PA 6 (perlón)	PA 66 (nailon)	PA 11
Nombres comerciales	Amilán, caprolán, dederón, grilón, kaprón, lilón, nylcor, silón, perlón.	Bri-nailon, lurón, nailon, nygon.	Rilsán

Tabla 8 Características de las fibras poliamídicas [17]

#### CARACTERÍSTICAS DE LAS FIBRAS

Las fibras PA acumulan una alta carga electrostática. Las poliamidas poseen un magnífico cuadro de propiedades mecánicas, una tenacidad muy elevada y unas excelentes características de deslizamiento y resistencia al desgaste. También poseen una gran elasticidad mayor que la de cualquier fibra natural, ocupa el primer lugar entre las fibras químicas por su altísima elasticidad. Es notable la perfecta capacidad de recuperación después de haber aplicado flexión en las fibras, las fibras de PA 66 son más rígidas que las de PA 6 [17].

Una de sus características más peculiar es el deshacer la suciedad fácilmente de sus fibras, basta un baño caliente con detergentes, soportan temperaturas de ebullición, pero se debe evitar los secados artificiales. También son resistentes a las lejías y a la intemperie.

## MORFOLOGÍA

Las poliamidas se hilan mediante el proceso de hilado de fusión, es decir, la masa fundida se mezcla con ácidos a elevadas temperaturas, la mezcla homogénea pasa a través de unas espreas mediante presión dando lugar a filamentos. Los orificios de las espreas tienen una anchura de 0,25 a 0,45 mm. Se realizan estiramientos de los filamentos de PA en frío aumentando hasta 5 veces la longitud original, al mismo tiempo se efectúa una torsión de protección de los filamentos. Se obtienen diversas formas de fibras, según lo que se desee producir filamentos de sección transversal redonda o en perfil [17].

## ESTRUCTURA QUIMICA

Una poliamida es un tipo de polímero que contiene enlaces de tipo amida (-CONH-) Cada PA está constituida según la materia prima. La PA 6, nylon 6 o perlón proviene de la poli caprolactama, una poliamida que procede de una sola clase de monómero la  $\epsilon$ -Caprolactama (CH<sub>2</sub>)<sub>5</sub>CONH[18].

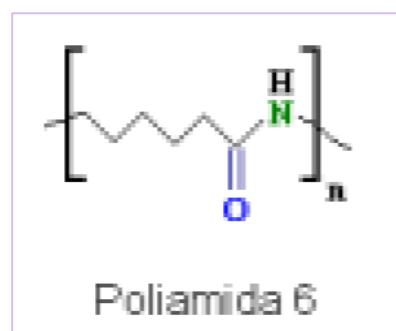


Fig. 18 Estructura química de la PA 6

La PA 66, nylon 66 es la poliamida que se deriva de la sal de nailon o sal AH, misma que se obtiene de la hexametildiamina (1,6 Diaminohexano) NH<sub>2</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>6</sub> NH<sub>2</sub> y ácido adípico COOH(CH<sub>2</sub>)<sub>4</sub>COOH[18].

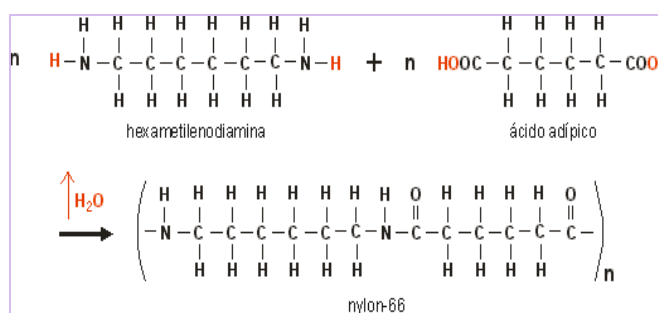
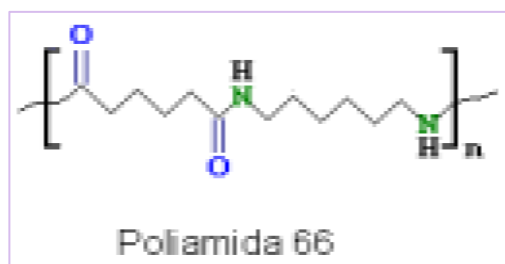


Fig. 19 Estructura química de la PA 66

### 3.6.3 Viscosa

Este tipo de fibras se obtienen a partir de pasta de celulosa preparada mediante diversos sistemas y con distintos productos a partir de troncos de árboles, concretamente de la celulosa de los abetos, del eucalipto y del bambú.

La viscosa fue la primera fibra química que se patentó, su producción se inició en los Estados Unidos con la intención de encontrar una fibra sustitutiva de la seda, cosa que se llegó a conseguir. De todos modos, la fibra comenzó a utilizarse por las propias cualidades.

#### CARACTERÍSTICAS

La viscosa es débil y tiene muy poca elasticidad, por eso es aconsejable lavarla en seco. Para minimizar este fenómeno, se desarrolló la viscosa modal que puede lavarse a máquina y es más adecuada para mezclarse con otras fibras, como el algodón, el poliéster o la poliamida. Es una fibra que arde con facilidad, pero proporciona tejidos con una caída muy buena. No tiene una resiliencia alta, pero es una fibra suave[10].

#### MORFOLOGÍA

Como todas las fibras químicas, se puede comercializar en forma de filamento continuo o fibra cortada. La viscosa en fibra cortada se conoce normalmente con el nombre de fibrina. Cuando se presenta en forma de forma cortada, la longitud de las fibras suele adaptarse a la longitud de aquellas fibras con las que se quiera mezclar. La viscosa posee multifilamentos y se caracteriza por tener unas estrías a lo largo del eje de la fibra y su sección transversal es casi circular.

#### ESTRUCTURA QUÍMICA

Para la obtención de viscosa se realiza un proceso químico a la celulosa con un álcali y disulfuro de carbono.

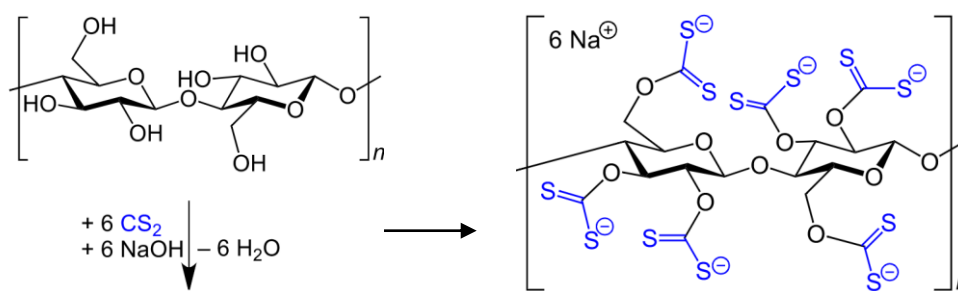


Fig. 20 Estructura molecular de la viscosa

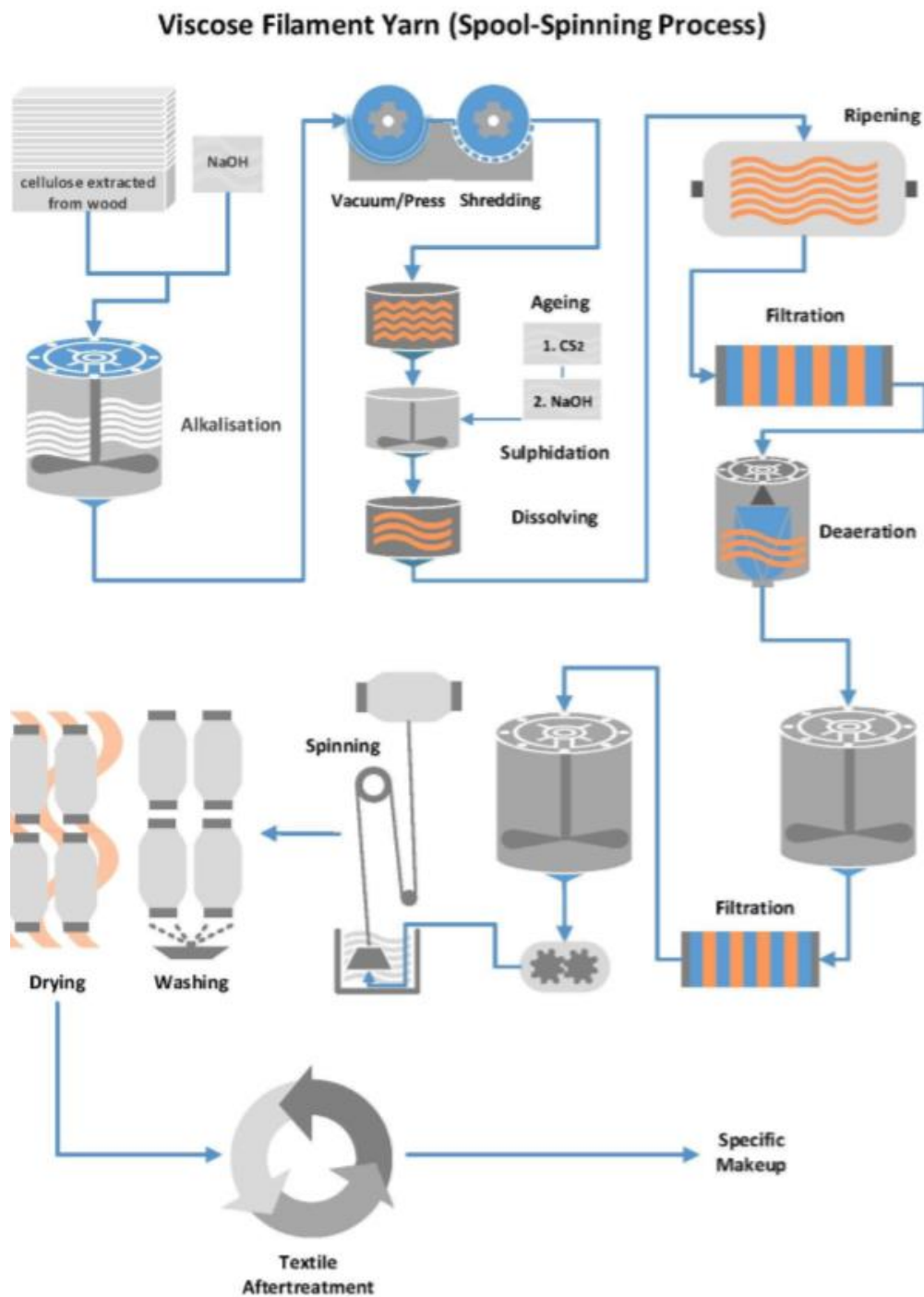


Fig. 21 Diagrama de flujo de la obtención de fibras de viscosa

A continuación, la figura 21 resume las fibras estudiadas en este trabajo, el origen, sus correspondientes grupos funcionales y la estructura molecular.

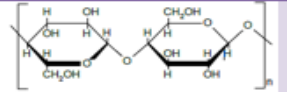
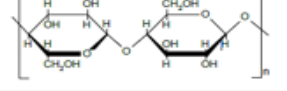
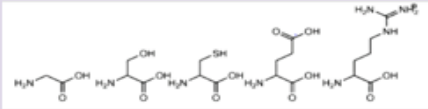
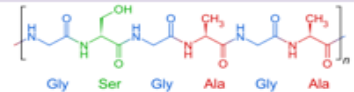
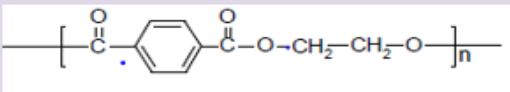
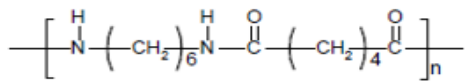
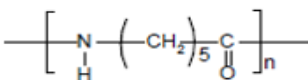
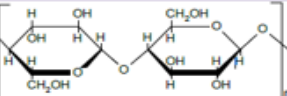
FIBRA	DESCRIPCIÓN	ESTRUCTURA MOLECULAR DE LA UNIDAD DE REPETICIÓN	GRUPO FUNCIONAL
Algodón	Origen vegetal: composición química celulósica		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alcoholes, primarios</li> <li>- Alcoholes secundarios</li> <li>- Enlace O-glicosídico.</li> </ul>
Lino	Origen vegetal: composición química celulósica		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alcoholes, primarios</li> <li>- Alcoholes secundarios</li> <li>- Enlace O-glicosídico.</li> </ul>
Lana	Origen animal: La lana se construye a partir de aminoácidos y la composición varía.		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alcohol</li> <li>- Ácido carboxílico</li> <li>- Tíol</li> <li>- Amida</li> <li>- Grupo guanidina</li> </ul>
Seda	Origen animal: obtención de		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alcohol</li> <li>- Amida</li> <li>- Tres grupos de aminoácidos</li> </ul>
Poliéster	Fibra compuesta por macromoléculas lineales que tienen en la cadena al menos el 85% en masa de un éster de un diol y ácido tereftálico.	Polietileno tereftálico 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ester</li> <li>- Benceno</li> </ul>
Poliamida o nylon	Fibra compuesta por macromoléculas lineales que tienen en la cadena enlaces amida recurrente, al menos el 85% de los cuales están unidos a unidades ciclo alifáticas.	Polihexametileno adipamida (poliamida 66)  Policaproamida (poliamida 6) 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Amida</li> </ul>
Viscosa	Fibra de celulosa obtenida por el proceso de viscosa. Fibra en que la sustancia componente está formada por caucho natural		

Fig. 22 Recopilación de fibras textiles estudiadas, descripción BISFA [19]

## 4. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

La espectroscopia consiste en la medición e interpretación de fenómenos de absorción, emisión o dispersión de radiación electromagnética que realizan los átomos, moléculas y otras especies químicas. Se conoce como espectro de absorción o emisión, a la representación de la intensidad de la radiación absorbida o emitida por la muestra en función de su longitud de onda.

Todas las técnicas espectroscópicas se basan en que, bajo ciertas condiciones, las moléculas absorben o emiten energía. Someter un material a radiación electromagnética de la longitud de onda correcta encaminará ciertas transiciones energéticas en el material[20].

Las diferentes técnicas espectroscópicas se basan en diferentes tipos de transiciones, como se presentan esquemáticamente en la Fig.20. Para la espectroscopia IR la radiación está en el rango infrarrojo y causa excitaciones vibracionales y rotacionales[21].

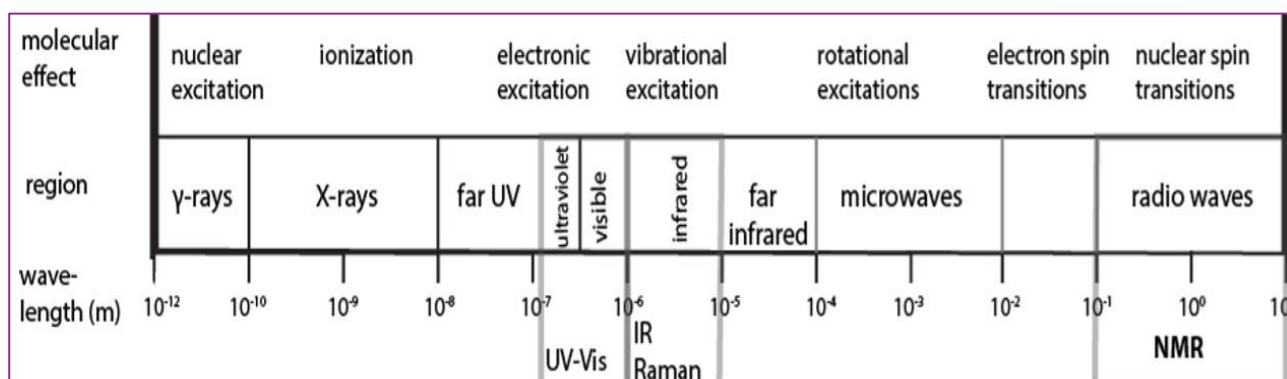


Fig. 23 Representación de los rangos de frecuencia donde operan las técnicas espectroscópicas.

Existen numerosas técnicas espectroscópicas específicas que utilizan estos principios fundamentales. Entre ellas destacan la espectroscopia de infrarrojos por la transformada de Fourier (FTIR) que se explicará en el siguiente apartado. El método de análisis utilizado en este trabajo para la clasificación de las distintas fibras textiles será el método FTIR con módulo de ATR.

### 4.1 Métodos analíticos

#### 4.1.1 FTIR

El método de análisis utilizado en este trabajo para la clasificación de las distintas fibras textiles será la técnica FTIR con módulo de ATR. Esta técnica se basa en la interacción entre la radiación electromagnética y las moléculas, dependiendo de la región del espectro en la que se trabaje y de la energía de radiación

utilizada. Esta interacción variara según su naturaleza: excitación de electrones (espectros moleculares electrónicos), vibraciones moleculares (espectros moleculares de vibración) y rotaciones moleculares (espectros moleculares de rotación). Los espectros moleculares solo pueden ser de absorción[22].

El espectro IR se extiende desde el visible hasta la región microondas. La región infrarroja se divide en tres zonas infrarrojo cercano (Near Infrared, NIR) se ubica entre los 700 y los 2500 nm (de 14300 a 4000  $\text{cm}^{-1}$ ); infrarrojo medio (Middle Infrared, MIR) se encuentra entre 2500 y 50000 nm (4000 y 200  $\text{cm}^{-1}$ ) y el infrarrojo lejano (Far Infrared, FIR) esta zona se sitúa entre los 50000 y los  $10^6$  nm (de 200 a 10  $\text{cm}^{-1}$ )[23].

La mayoría de las aplicaciones analíticas de esta técnica se sitúan en la región intermedia (MIR) con un número de onda de 4000 a 500  $\text{cm}^{-1}$  (o longitud de onda de 2,5 a 20  $\mu\text{m}$ ). La espectroscopia de infrarrojos pone en evidencia los enlaces existentes en las moléculas orgánicas, de esta manera permite la determinación de los grupos funcionales por sus vibraciones características a determinadas longitudes de onda. En el IR se intensifica el movimiento de los átomos sin perturbar su interior. Cuando la radiación electromagnética incide en la muestra ésta puede sufrir diferentes procesos: absorción, transmisión y reflexión. La intensidad de la radiación transmitida a través de la muestra es menor que la intensidad incidente. Una parte de esta intensidad incidente se refleja mientras que otra es absorbida, aunque también se han desarrollado espectroscopias basadas en el fenómeno de la reflexión, como son la reflectancia total atenuada (ATR), es la que se utilizara para los estudios posteriores[24].

Para la interpretación se divide el espectro en varias regiones de frecuencia, la presencia y ausencia de bandas en cada zona es lo que permite caracterizar la composición de la muestra. El espectro puede ser dividido de la siguiente manera:

- 4000-2600  $\text{cm}^{-1}$ : Bandas de estiramiento de los enlaces N-H, O-H. La ausencia de bandas en esta región indica que las muestras no contienen hidratos de carbono.
- 3200-2800  $\text{cm}^{-1}$ : Bandas de estiramiento de los enlaces de C-H. Aparecen bandas intensas para ceras, aceites y resinas naturales.
- 2800-1800  $\text{cm}^{-1}$ : Bandas de absorción correspondientes al dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y triples enlaces.
- 1800-1500  $\text{cm}^{-1}$ : Bandas de absorción de los enlaces carbonilo ( $\text{C=O}$ ) y dobles enlaces.
- 1500-500  $\text{cm}^{-1}$ : Bandas de absorción de enlaces sencillos. Se trata de una región característica para cada compuesto[21].

La técnica actual de espectroscopia de infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR) y utilizando el módulo (ATR) intercala un interferómetro entre la fuente de radiación y el compartimiento de la muestra, que actúa como monocromador. El Interferograma obtenido se convierte matemáticamente por medio de un proceso denominado transformada de Fourier como se muestran en la Fig. 23.



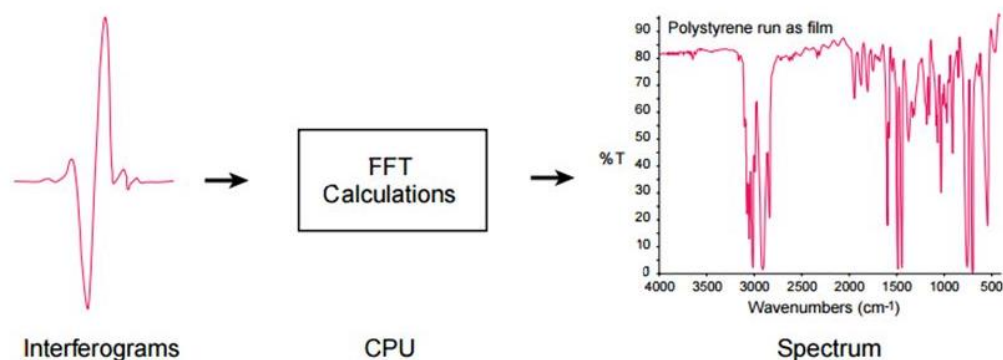


Fig. 24 El paso de un interferograma a un espectro

La transformada de Fourier del interferograma es similar al espectro ordinario obtenido por aparatos convencionales IR. EL interferómetro se compone de un sistema divisor del haz, de modo que la mitad de la radiación IR incidente se dirige hacia un espejo móvil, mientras que el resto es reflejado por un espejo estacionario. Una vez que ha incidido sobre ambos espejos, la radiación se recombina y llega de nuevo al sistema divisor. La mitad de la radiación obtenida se refleja y el resto se transmite atravesando la muestra y llegando al detector. La diferencia entre las fracciones de los espejos hace que se produzcan interferencias constructivas y destructivas. Las ventajas de esta técnica son el poder de resolución y que todas las frecuencias son analizadas a la vez, durante el registro espectral[20].

Otra ventaja es la rapidez, ya que todo el espectro está contenido en el interferograma registrado en un segundo. Sumando los tiempos de cálculo y dibujo se tarda a lo sumo 15 segundos, que es un tiempo muy corto comparado con los 10 minutos que se tarda en obtener una misma resolución por los métodos tradicionales.

#### 4.1.2 ATR

Los principales obstáculos en la espectroscopia IR de sólidos y líquidos son la necesidad de preparación de la muestra y los problemas de reproducibilidad espectral. El uso de la reflectancia total atenuada (ATR) elimina la necesidad de preparar la muestra y, por lo tanto, ofrece un registro más rápido con una alta reproducibilidad.

El principio de la reflectancia total atenuada (ATR) se fundamenta en el fenómeno de la reflexión total interna y la transmisión de la radiación a través de un cristal con un elevado índice de refracción. La radiación penetra unos micrómetros más allá de la superficie del cristal donde se produce la reflexión total, en forma de onda evanescente. Si en el lado exterior del cristal se coloca un material absorbente (la muestra), la radiación que pasa a través del cristal se verá atenuada y se puede registrar el espectro de la muestra[25].

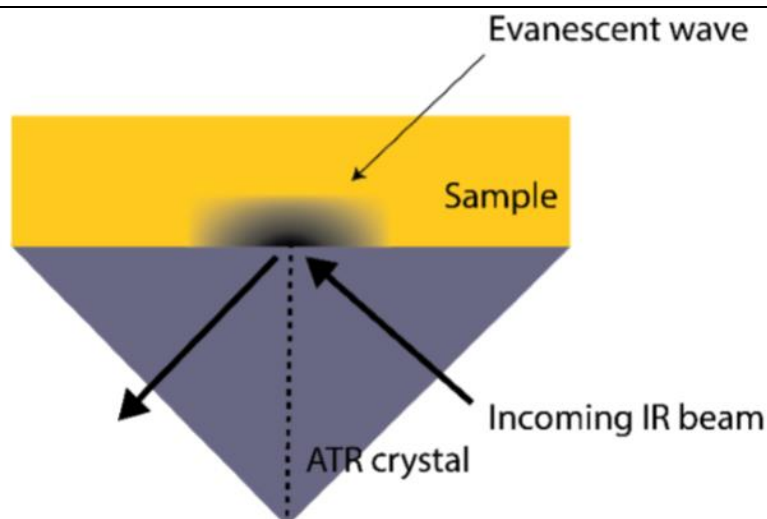


Fig. 25 Representación esquemática de una sola reflexión ATR

El ángulo de la radiación incidente y la geometría del cristal facilitan que se produzcan sucesivas reflexiones en su interior. Para obtener medidas adecuadas es necesario que exista un contacto íntimo entre la muestra y el cristal por esta razón es factible para muestras líquidas o sólidas, pero, en muestras que se puedan compactar contra el cristal a presión. Por otra parte, el cristal debe mantenerse limpio mantener la superficie pulida y ser transparente a la radiación infrarroja, los cristales empleados típicamente son el silicio, germanio y diamante.

La representación de respuesta del detector en porcentaje de transmitancia (%T) o absorbancia (A) frente a la frecuencia infrarroja (en número de ondas  $\text{cm}^{-1}$ ) es lo que se denomina espectros de infrarrojos.

Para el registro de espectros se utilizó el modelo Spectrum One (S/N 57458) el espectrofotómetro es de PerkinElmer (Beaconsfield, UK) equipado con el módulo ATR (Universal Sampling Accessory, S/N PODL01101418). Los espectros se obtuvieron dentro del intervalo de números de onda de  $4000$  a  $650 \text{ cm}^{-1}$ , con un total de 4 exploraciones por muestra y una resolución de  $1 \text{ cm}^{-1}$ [23].



Fig. 26 Instrumento de espectroscopia FTIR. Utilizado en el Campus Igualada

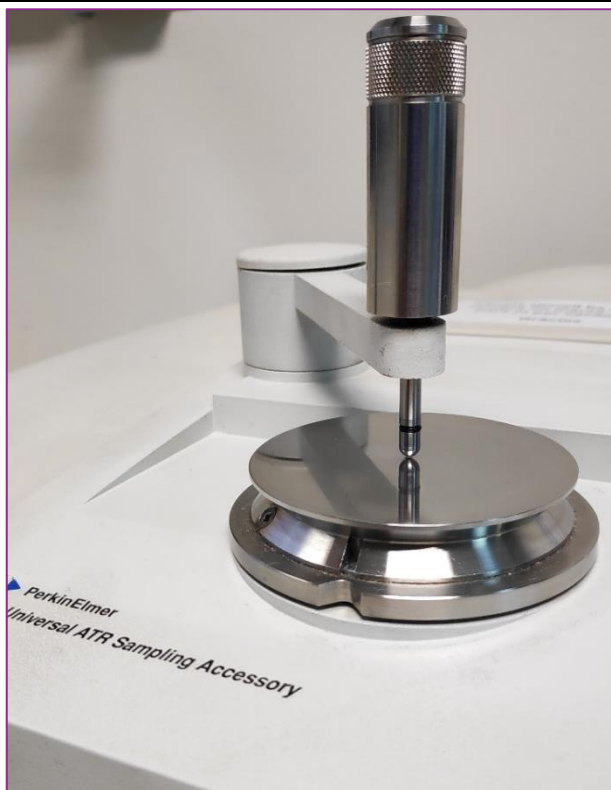


Fig. 27 Módulo ATR. Campus Igualada

## 4.2 Métodos matemáticos

La quimiometría es un campo interdisciplinario que involucra el análisis multivariable, los modelos matemáticos, la informática y la química analítica. Algunas de las áreas de aplicación más importantes de la quimiometría incluyen la calibración, la validación y pruebas de significación. También incluye la optimización de las mediciones químicas, procedimientos experimentales y la extracción del máximo de información química a partir de datos analíticos [23].

Con la ayuda de la quimiometría se pueden afrontar estudios realizados con IR con mayores posibilidades de éxito. Las dificultades presentadas en el empleo de técnicas analíticas, como por ejemplo señales no resueltas, la gran cantidad de componentes y la complejidad de los espectros del infrarrojo [26] se resuelven mediante las técnicas de quimiometría.

Abarca diversos objetivos como el pretratamiento de los datos experimentales para mejorar la calidad de la señal, la construcción de modelos para el reconocimiento de pautas y la determinación cuantitativa. Son muchas las técnicas quimiométricas que se pueden utilizar para llevar a cabo estos objetivos. En esta sección se describen aquéllas que han sido utilizadas en este trabajo[27].

### 4.2.1 Análisis multivariable

Es el conjunto de técnicas estadísticas que simultáneamente analizan múltiples resultados de una investigación o proceso a desarrollar. Para que un análisis se considere multivariable todas las variables deben ser aleatorias y relacionadas de manera que los resultados obtenidos no puedan ser interpretados de manera individual [27].

Un análisis multivariable se utiliza para representar datos inteligibles, para esclarecer la distribución real de varias variables, desarrollar un modelo de predicción basado en múltiples variables y para hallar las relaciones de causa-efecto entre variables. El propósito del análisis multivariable es medir, explicar y predecir el grado de relación que existe entre la variación (combinación lineal ponderada de las variables)[28].

Las diversas técnicas que abarca el análisis multivariable, dentro de éstas se encuentra la técnica de Análisis de Componentes Principales (PCA) que se utiliza para llevar a cabo esta investigación.

Posteriormente, se presenta una recopilación de información sobre la técnica de análisis de componentes principales.

### 4.2.2 PCA: análisis de componentes principales

Es un método matemático bilineal que provee una interpretación general de la principal información contenida en una tabla multivariable, mediante la extracción y visualización de la variación sistemática de los datos de dicha tabla. Los datos originales se transforman en una combinación lineal de variables no correlacionadas entre sí, llamadas componentes principales (PC). No todos los componentes principales contienen la misma información; los primeros son los que describen la mayor variación en los datos, que se asocia a la información más relevante, mientras que los últimos describen variaciones en los datos que pueden ser descartados, con lo que se consigue una importante reducción del número de variables. Se aplica la siguiente ecuación[28] :

$$X = \sum_{i=\alpha} t_i p_i^T + E$$

(Ecuación 1)

Donde  $X$  es la matriz de datos a tratar (en este trabajo serán los datos espectrales),  $\alpha$  es el número de componentes principales que contienen la información deseada,  $t_i$  son los scores (ver gráfico 1) para cada componente principal y  $p_i$  los loadings, los loadings son las cargas que "restauran" la matriz de covarianza y correlación original también se pueden entender como los pesos para cada variable original al calcular el componente principal. [29], y  $E$  es una matriz de error, es decir la variación residual de  $X$ . El superíndice  $T$  indica la matriz traspuesta. La ecuación 1, se puede expresar de la siguiente manera [28]:

$$X = TP^T + E$$

(Ecuación 2)

Donde  $T$  es la matriz de scores, con tantas filas como la matriz original  $X$ , y que contiene la información sobre las filas (los objetos) de la matriz original:  $P^T$  corresponde a la transpuesta de la matriz de loadings, con tantas columnas como los datos originales, y que contiene información sobre las columnas (las variables) de la matriz original. El número de columnas de la matriz scores corresponde al número calculado de componentes principales,  $\alpha$ ; PC1 explica la máxima variabilidad de la matriz  $X$ , PC2 es ortogonal a la primera componente y abarca la mayor cantidad de la variación restante, y así sucesivamente, hasta que se explica el total de la variación útil de la matriz original  $X$ . Al representar gráficamente los valores de los scores, es posible detectar e interpretar las pautas presentadas por las muestras, agrupaciones, similitudes y muestras anómalas[28].

## SOFTWARE UTILIZADO → THE UNSCRAMBLER

Unscrambler es el software utilizado para la interpretación del análisis de las componentes principales. Es una herramienta para modelar, predecir y optimizar el uso de analíticas, gráficos interactivos y visualizaciones para desarrollar estudios de manera rápida, con mejor calidad y optimización en procesos [30].

Este programa proporciona la resolución de estudios, tareas, problemas o investigaciones a través de las siguientes funciones[31]:

- Análisis multivariado simplificado
- Realización de ensayos experimentales diseñados
- Reformatear, transformar y trazar datos
- Estudiar las variancias entre grupos de variables
- Estudiar las relaciones entre grupos de variables
- Validar modelos multivariados con pruebas de incertidumbre
- Estimar nuevos valores de respuesta desconocidos
- Clasificar muestras desconocidas. Revelar grupos de muestras

El programa se divide en dos áreas importantes: análisis de conglomerados y análisis discriminante. Los métodos de análisis de conglomerados se pueden utilizar para encontrar grupos en los datos, pero sin poseer una estructura predefinida y se conoce como aprendizaje no supervisado, es decir, no está condicionado por órdenes iniciales. Este análisis es altamente exploratorio siendo en varias ocasiones muy útil, especialmente en una etapa temprana de una investigación, como en este estudio. En cambio, el análisis discriminante es un método de clasificación supervisado, ya que se utiliza para crear reglas de clasificación para una serie de clases preespecificas. Este modelo se utiliza cuando la investigación a desarrollar está avanzada y se suelen asignar muestras nuevas o se interpretan las diferencias entre grupos de muestras [31].

Esta investigación se desarrolla con el análisis de conglomerados (no supervisado), ya que el estudio se basa en saber si el método funciona sin llegar a afinar.

## 5. PARTE EXPERIMENTAL

Este trabajo se ha realizado gracias a la colaboración con Fitex, Fundación Privada por la innovación Textil, entidad interesada en el reciclaje textil a través de procesos automatizados. Dicha entidad ha proporcionado catálogos textiles con muestras de hilo y tejido de diferentes composiciones y características. Las muestras son el producto principal para llevar a cabo el desarrollo de este trabajo, sin disponer de un número elevado de muestras la investigación no se podría realizar. Es importante disponer del máximo número de muestras de fibras de cada tipo estudiado (algodón, poliéster, seda, poliamida, lana, viscosa, etc.) para poder tener una base de datos suficiente que luego permita clasificar bien nuevas muestras incógnita.

### CLASIFICACIÓN DE CATÁLOGOS SEGÚN LA COMPOSICIÓN DE LAS FIBRAS

Los catálogos proporcionados por la entidad fueron 25 aproximadamente. Se determina que hay catálogos con hilos y tejidos de diferente composición. Para disponer de una trazabilidad exacta de todas las muestras primero se da un código a cada catálogo y a cada muestra dentro de este catálogo. Con ello se obtienen unas abreviaturas ordenadas e identificables. La abreviatura de cada muestra contiene el nombre del catálogo, el color, la forma y la composición. En el caso de los colores de hilos se les otorga una abreviatura específica por cada color, pero en el caso de los tejidos los colores no están definidos por lo que se opta por escribir “sin nombre (SN)”.

A continuación, se presenta un ejemplo del tipo de nomenclatura con la que se trabaja:

Catálogo	Abreviatura catálogo	Experimento	Abreviación color	Tipo de composición		Gamma color	
				Hilo	Tejido	Claro	Oscuro
Filartex 1005 organic cotton	C1	1	Verde				
			VE	H	T	CL	OS

*Tabla 9 Nomenclatura identificativa de los registros en IR de las muestras*

Código de la muestra:

**C1\_VE-CL\_1H\_” nombre muestra en el catálogo”**

En el Anexo I se encuentra la información completa de todos los catálogos conseguidos y el número de muestras en cada uno. En los anexos siguientes se encuentran los datos de las muestras registradas siguiendo la nomenclatura descrita anteriormente.

## 5.1 Estudio 1: Análisis de fibras de algodón y fibras de poliéster

Este estudio se realiza con la finalidad de determinar si el método permite distinguir adecuadamente el algodón del poliéster, la primera de origen vegetal y la segunda sintética. Se utilizan dos grupos de naturaleza química muy distinta con el objetivo de realizar una primera estimación de las posibilidades de éxito del método. Es decir, si en una primera etapa el método logra, en este caso, diferenciar las fibras se puede llegar a predecir los siguientes estudios de forma positiva.

Al mismo tiempo quiere comprobarse si hay diferencia o no entre registrar muestras en forma de hilo y tejido. También si el color de la muestra puede afectar a su correcta clasificación.

### 5.1.1 Registro de los espectros

Una vez codificadas, se procede a la elección de las muestras a registrar. La lectura completa consta de:

Tipo de fibra	Característica	Catálogo	Nº de muestras
Algodón (fibra natural)	Hilo	C1	20
	Tejido	C6	20
Poliéster (fibra sintética)	Hilo	PL2	10
		PL5	10
	Tejido	PL8	16
TOTAL			76

Tabla 10 Clasificación de hilos y tejidos del algodón y poliéster por catálogo (ver Anexo I. apdo. A I.I, A I.VI)

### Algodón

Se seleccionan 20 muestras (algodón-hilo) de diferentes colores del catálogo C1. Los colores varían en intensidades, es decir, colores que cambien de claro a oscuro, el objetivo es ver si existe diferencia o variación debido a los pigmentos que dan color al hilo.

Existen factores que dificultan la lectura de muestras, por ejemplo, el hilo se encuentra entrelazado a un cartón, pero teniendo en cuenta que si se retira el hilo del cartón la lectura del IR es inexacta dando valores negativos, se opta por realizar la lectura con el cartón. De manera cuidadosa se intenta que el IR detecte el hilo y realice una lectura precisa. Más adelante veremos que el cartón no interfiere en el espectro debido a la mínima penetración de la radiación sobre la muestra al trabajar con FTIR-ATR.



Fig. 28 Imágenes del registro de una muestra de hilo

Es necesario que los picos del espectro tengan la intensidad suficiente como para que el ruido no interfiera. Cada registro se guarda en formato Spectrum y JCAMP. El segundo es un formato de datos portátil y estándar definido por JCAMP para admitir el intercambio de información química y espectroscópica facilitando la lectura mediante el programa *THE UNSCRAMBLER*.



Posteriormente se seleccionan 20 muestras de algodón-tejido, son trozos de tela 100% algodón. El procedimiento es exactamente igual al anterior, la diferencia está en la muestra, en este caso no influye el cartón debido a que la tela tiene contacto directo con el cristal. Nuevamente se escogen 20 muestras variadas en color y se inicia el registro.

### **Poliéster**

En el caso del poliéster hilo y partiendo de los catálogos disponibles se opta por elegir diez muestras de hilo metalizado y otras diez de hilo común. El factor “cartón” se repite, puesto que, todos los hilos sean de la composición que sean están enrollados a un cartón. En caso de lectura errónea se decide realizar hasta cuatro repeticiones de registro y solo se eliminarán en la etapa de los cálculos.

En el caso de tejidos de poliéster, las muestras son de un “Catálogo artesanal” siendo un total de 18 muestras. Algunas fracciones de tejido tienen poca superficie de contacto, es decir, son tejidos con agujeros y esto dificulta el registro que se llevará a cabo doblando repetidamente el tejido.

De este grupo hay dos muestras que han sido difíciles de registrar, hubo que realizar varios registros de la misma muestra, y al final, como veremos en la etapa de los cálculos matemáticos llegamos a la conclusión que se debían descartar definitivamente dichas muestras. En el apartado de anexos se encuentran las muestras de tejido descartada.

Dentro del estudio 1 se realizaron matrices por grupos de igual composición. Un subestudio dentro de este estudio 1 consistió en observar si el color de los hilos y tejidos afectan o causan algún tipo de variación en espectros y por consecuencia en la aplicación del PCA y también ver si hay diferencia entre registro de hilo o tejido del mismo material.

Posteriormente se realizaron los cálculos correspondientes respecto a la matriz del grupo de fibra de algodón (40 muestras) y una segunda matriz del grupo de poliéster (36 muestras), para ver si existe una separación y distinción dentro del grupo de las fibras naturales y del grupo de las sintéticas. En la Tabla 11. se muestran los PCA's correspondientes a cada grupo y las tres imágenes obtenidas en modo absorbancia, primera y segunda derivada se encuentran en el Anexo II. (apdo. A II.II y apdo. A II.III).

<b>Algodón</b>	<b>Poliéster</b>
PCA_Abs_subestudio1_40mA	PCA_Abs_subestudio1_36mP
PCA_1D_subestudio1_40mA	PCA_1D_subestudio1_36mP
PCA_2D_subestudio1_40mA	PCA_2D_subestudio1_36mP

*Tabla 11 PCA'S de las matrices del subestudio 1*

## FRECUENCIAS DE BANDAS IR

A continuación, la tabla 12[19] presenta las bandas de absorción y los tipos de vibración, de las diferentes clases de fibras. Esta tabla aporta información necesaria para identificar las fibras de igual o de diferente composición.

FRECUENCIA DE BANDA (cm <sup>-1</sup> )	TIPO DE VIBRACIÓN	TIPO DE FIBRA
3700-3200	O-H	Celulósicas
3500-3200	N-H	Poliamidas
2930-2840	C-H	La mayoría de polímeros fibrosos
2260-2240	C≡N	Acrílicos
1740-1715	C=O	Poliéster
1670-1630	C=O	Poliamida, lanas
1650-1590	N-H	Lanas, poliamidas
1570-1515	N-H	Lanas, poliamidas
1250-1150	C-O	Poliéster
1100-1000	C-O	Celulósicas
730-650	C-H	Poliéster

*Tabla 12 Frecuencias de banda IR típicas para fibras textiles comunes*

Como se puede observar en la figura 29 a los espectros de algodón: espectro de color azul estructura física hilo y espectro de color rojo estructura física tejido, y espectros de poliéster: espectro de color verde estructura física hilo y espectro de color azul claro estructura física tejido, los espectros presentan una idea clara de la composición química de cada tipo de fibra.

Algodón→El algodón se localiza en el rango  $3700-3200\text{ cm}^{-1}$  y entre  $1100-1000\text{ cm}^{-1}$

Poliéster→ Unidad de repetición del poliéster está conformada por un anillo aromático y un éster, el primero se localiza aproximadamente entre el rango  $730-650\text{ cm}^{-1}$  y el segundo se encuentra entre el rango  $1740-1715\text{ cm}^{-1}$ .

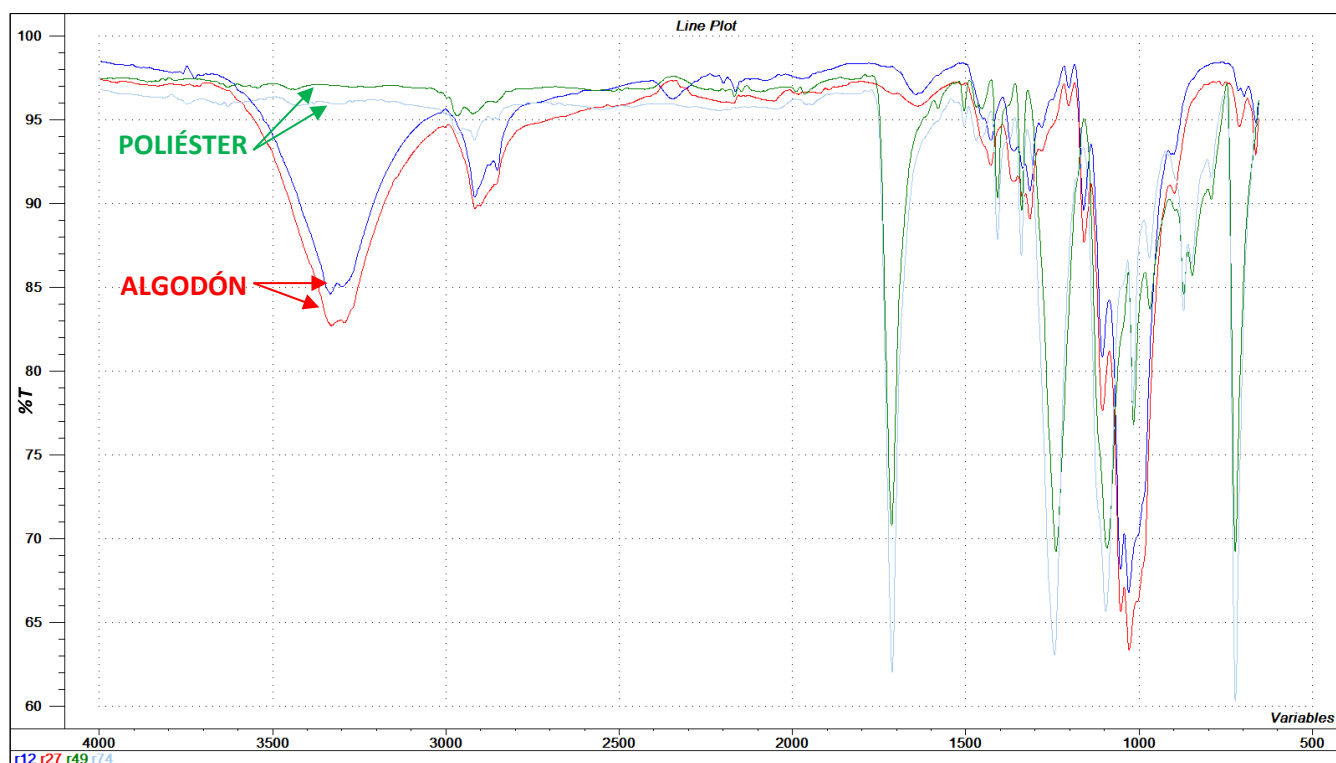


Fig. 29 Espectros de algodón (r12-hilo y r27-tejido) y poliéster (r49-hilo y r74-tejido)

El término "r" hacen referencia a las muestras escogidas entre las 40 muestras de algodón y las 36 muestras de poliéster.

### 5.1.2 Cálculos

Una vez registradas todas las muestras destinadas al estudio 1 (algodón y poliéster), se preparan las matrices sobre las que posteriormente se aplicará el análisis de componentes principales (PCA), método matemático no supervisado, para la caracterización de las muestras.

#### 5.1.2.1 Creación de matriz principal

Se genera una matriz principal con las 76 muestras de algodón y poliéster (hilo+tejido). La entrada de datos se realiza conforme a la información de la tabla del Anexo II (apdo. A II.I) que permite identificar inequívocamente cualquier muestra.

- Primero se colocan las 20 muestras de algodón-hilo
- Segundo 20 muestras de algodón-tejido
- Tercero 20 muestras de poliéster-hilo
- Cuarto 16 muestras de poliéster-algodón

#### 5.1.2.2 Análisis de los componentes principales (PCA)

El análisis de componentes principales se realizó en las 76 muestras de algodón y poliéster empleando el software *THE UNSCRAMBLER*, el cual tiene un programa especialmente creado para análisis multivariante de datos. Este programa ofrece una visión general de los resultados como ya se había explicado anteriormente

. A continuación, y tras la creación de las matrices en modo absorbancia, modo primera derivada y segunda derivada, se presentan los PCA's de cada matriz. Se pretende escoger el modo más adecuado y el que ofrezca una imagen e idea clara del análisis para determinar si las muestras de algodón se separan de las muestras de poliéster y si existe diferencia entre hilo y tejido del mismo grupo o entre colores.

Estudio de PCA
PCA_Abs_estudio1_76m
PCA_1D_estudio1_76m
PCA_2D_estudio1_76m

Tabla 13 Modelo de los PCA's de las matrices del estudio 1

### 5.1.2.3 Resultados de PCA: Imágenes

Se realizó un PCA global empleando las muestras indicadas en la Tabla 12. A partir de la obtención de gráficos se procede a observar si las muestras se agrupan entre sí o no. Los resultados obtenidos integran tres gráficos fundamentales: el gráfico de *SCORES* (ver gráfico 1) que ofrece toda la información e interpretación de los resultados definiendo el método como factible o no factible; el gráfico de *INFLUENCE* (ver gráfico 2) y el gráfico de *EXPLAINED VARIANCE* (ver gráfico 3). Los gráficos 2 y 3 serán presentados y por lo tanto explicados solo en los estudios 1, 2 y 3, pero no en los subestudios, en los que sólo se presentará el gráfico de scores ya que es el más relevante y por consiguiente el que aporta toda la información. Todos los gráficos restantes se presentarán en los anexos.

#### COMO INTERPRETAR LOS RESULTADOS DE PCA (GRÁFICOS)

Scores: este diagrama (ver gráfico 1) proyecta las muestras sobre un espacio bidimensional descrito por los dos primeros componentes principales (PC1, PC2) que son los que contienen la información más relevante del espectro de las muestras[32].

Cuanto más agrupadas se encuentren las muestras en el gráfico de scores, más similares serán con respecto a los dos componentes. Por el contrario, las muestras con mayor dispersión entres sí son diferentes entre sí. El gráfico se puede utilizar para interpretar diferencias y similitudes entre muestras.

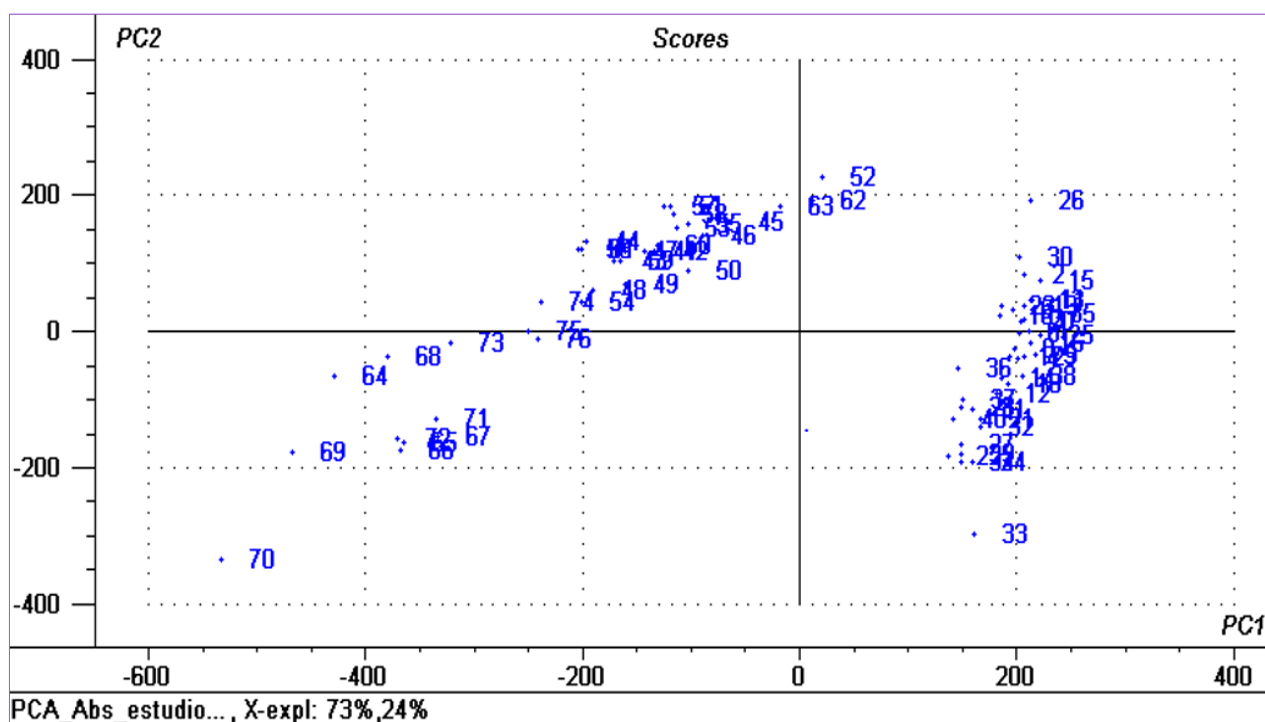


Gráfico 1. Scores para el estudio 1 (modo absorbancia)

**Influence:** este diagrama (ver gráfico 2) muestra valores atípicos por medio del residual (eje ordenadas) frente a leverage (eje abscisas). Una muestra que presenta un valor elevado tanto en el leverage como en el residual, aparecería arriba y a la derecha del gráfico, indicando que se trata de un outlier (muestra atípica)[32]. Es decir, una muestra con alta varianza residual y alto leverage es un valor atípico, no solo está mal descrito por el modelo, sino que también es influyente debido a que está en desacuerdo con la mayoría de las muestras de calibración.

Si la variación descrita por la muestra es importante pero única, se deben intentar obtener más muestras del mismo tipo para estabilizar el estudio. De lo contrario la muestra debe descartarse como un valor atípico.

En el caso de las fibras de algodón y de poliéster (grafico 2) la muestra 76 presenta una elevada variancia residual. Las muestras 64 y 70 poseen un elevado leverage. Sin embargo, ninguna de las tres muestras se encuentra en la parte superior-derecha del gráfico, por lo tanto, se decide no eliminarlas del estudio.

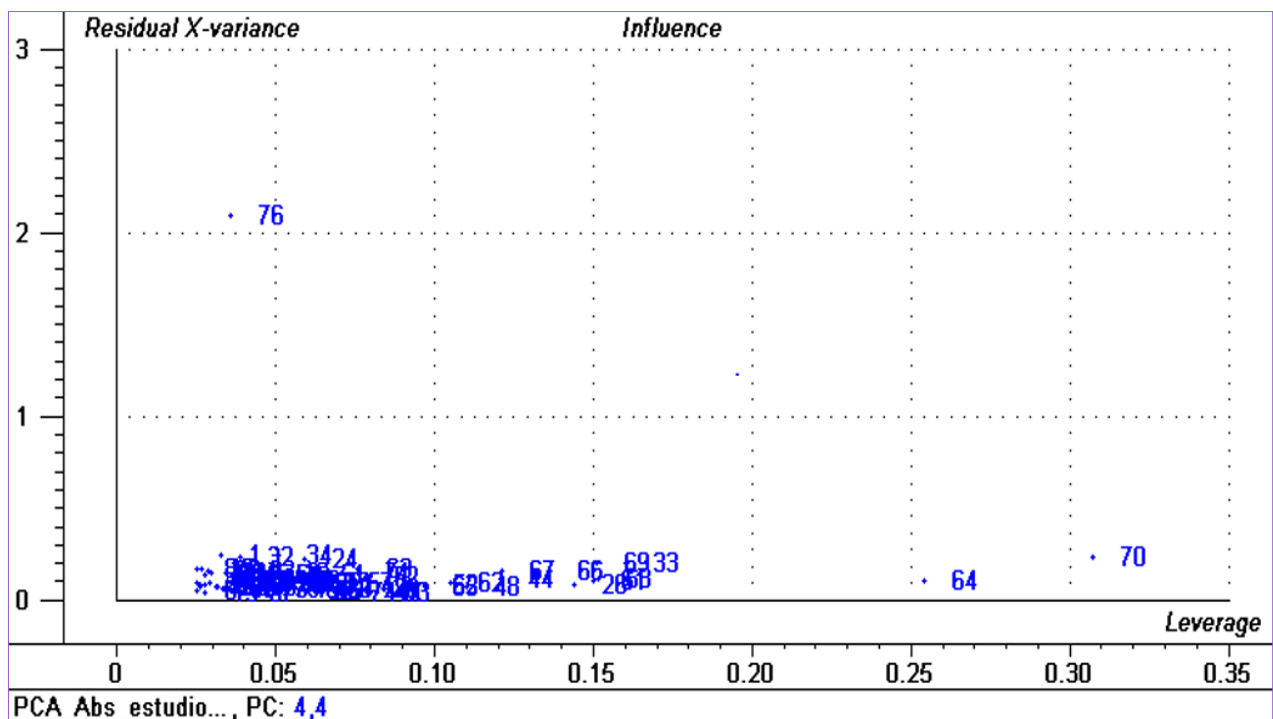


Gráfico 2. Residual vs leverage para el estudio 1 (modo absorbancia)

**Explained Variance:** este diagrama (ver gráfico 3) indica la varianza cuantificada de los componentes. La varianza residual total se calcula como la suma de los cuadrados de los residuos para todas las variables, dividida por el número de grados de libertad. Por lo tanto, la varianza total explicada se calcula como la diferencia entre la varianza inicial y la residual dividida por la varianza inicial en porcentaje. Lo ideal es conseguir modelos o resultados simples donde, la variación residual sea cero con la menor cantidad de componentes posible. Las dos curvas que ofrece el gráfico es la curva de calibración (azul) y la curva de la varianza total (roja), si las dos líneas están juntas el modelo es representativo. Por el contrario, si están muy separadas el modelo no describe bien los datos.

Por lo tanto, si la suma de las variaciones explicadas para dos componentes es alta (por ejemplo, 70-80 %), la gráfica ofrece una gran parte de la información de los datos, por lo que las relaciones se pueden interpretar con un alto grado de certeza. Por otro lado, si es más pequeño, se deben considerar más componentes o una transformación, o simplemente puede haber poca información significativa en los datos del estudio. En el caso del estudio 1 (algodón y poliéster) el gráfico 3 señala que entre 4 y 5 componentes principales logran explicar más del 99% de la varianza total.

Los valores atípicos a veces pueden causar una gran variación residual o una pequeña variación explicada. Solo si se requiere profundizar la investigación los valores discrepantes se deben analizar para su eliminación o no.

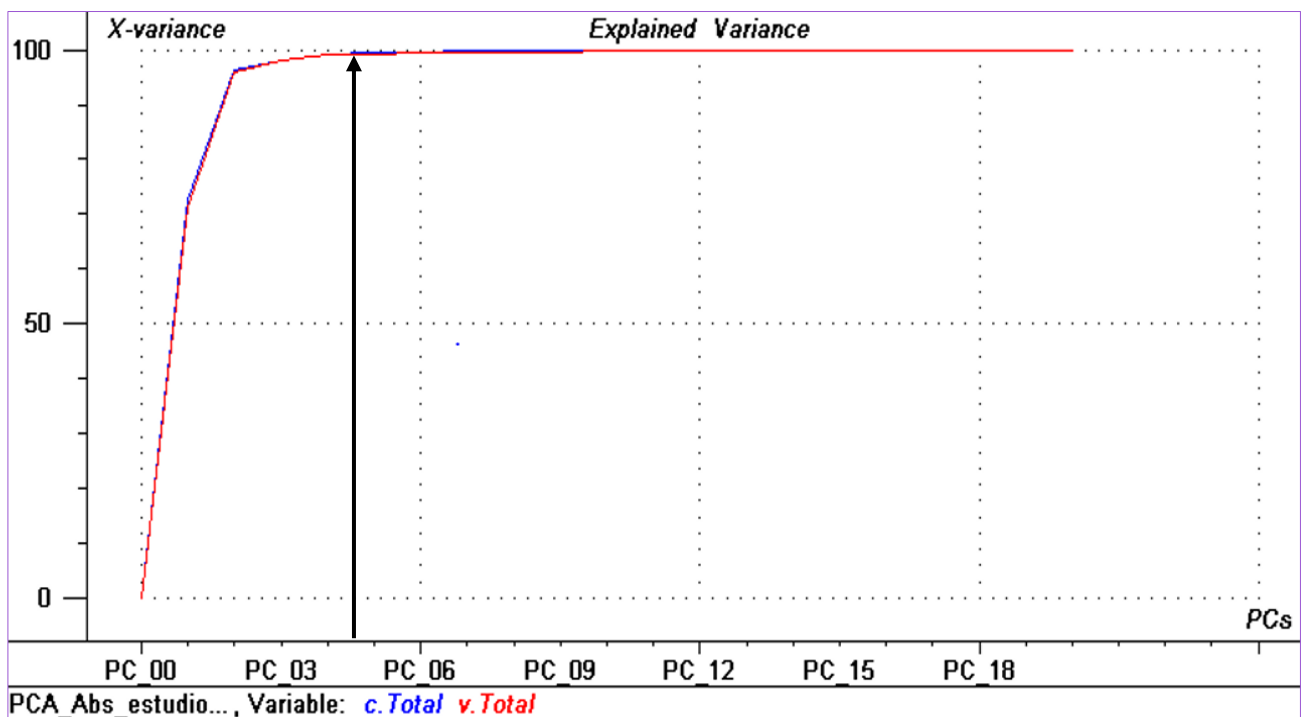


Gráfico 3. Varianza explicada para el estudio 1 (modo absorbancia).

Posteriormente, los gráficos del 4 al 6 muestran en detalle la distribución de todas las muestras de algodón (números 1 a 40) y las de poliéster (números 41 a 76) en modo absorbancia, primera y segunda derivada (gráfico de scores). Como puede observarse los 3 análisis permiten distinguir fácilmente entre muestras de algodón y de poliéster. Es importante aclarar que las elipses dibujas sobre los gráficos se han creado para identificar y distinguir unas fibras de otras. No se realizan cálculos matemáticos sobre las elipses.

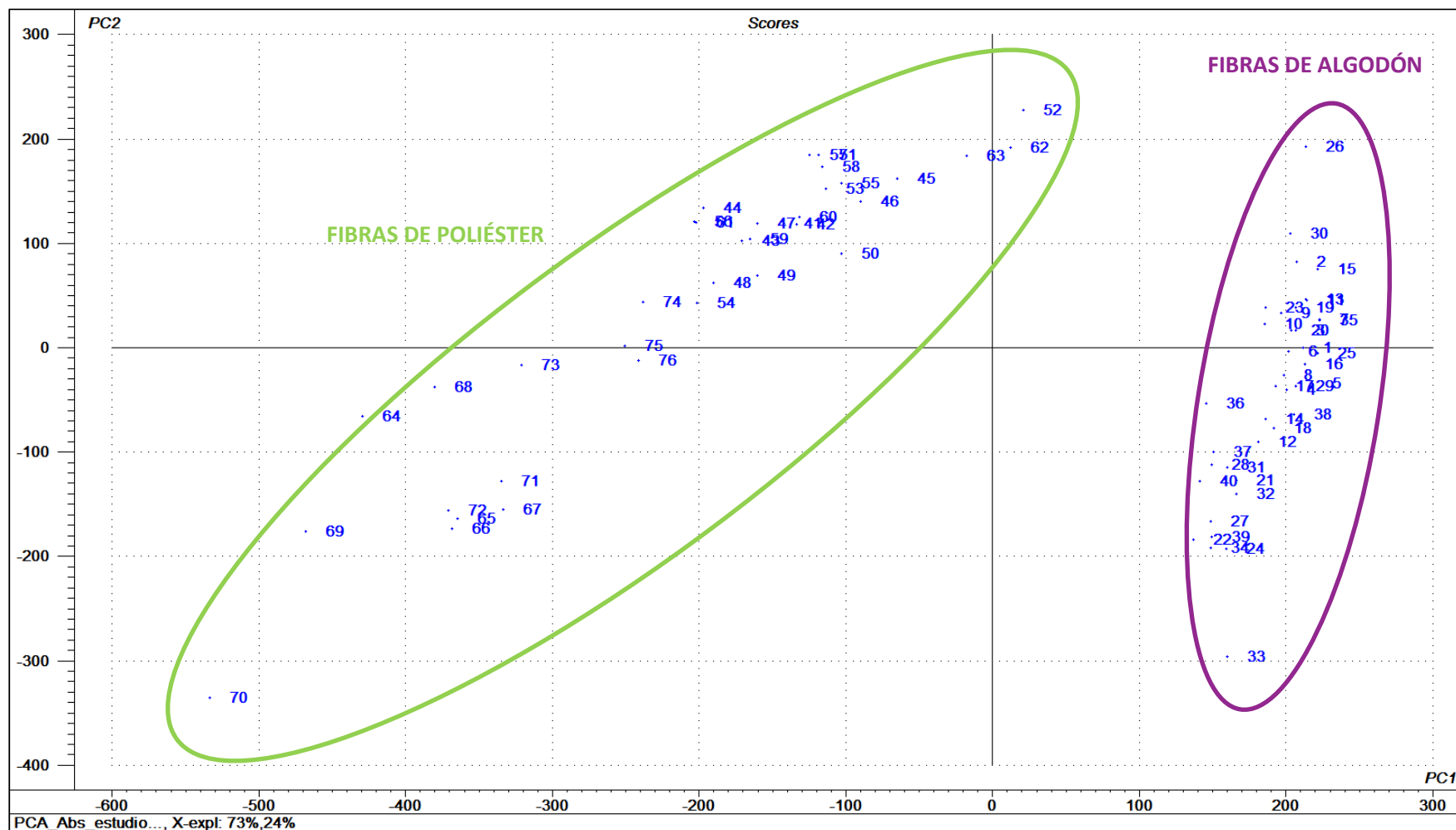
**PCA EN MODO ABSORBANCIA DE 76 MUESTRAS DE ALGODÓN (1 a 40) Y POLIÉSTER (41 a 76)**


Gráfico 4. Scores para el estudio 1 (modo absorbancia) aumentado del gráfico 1



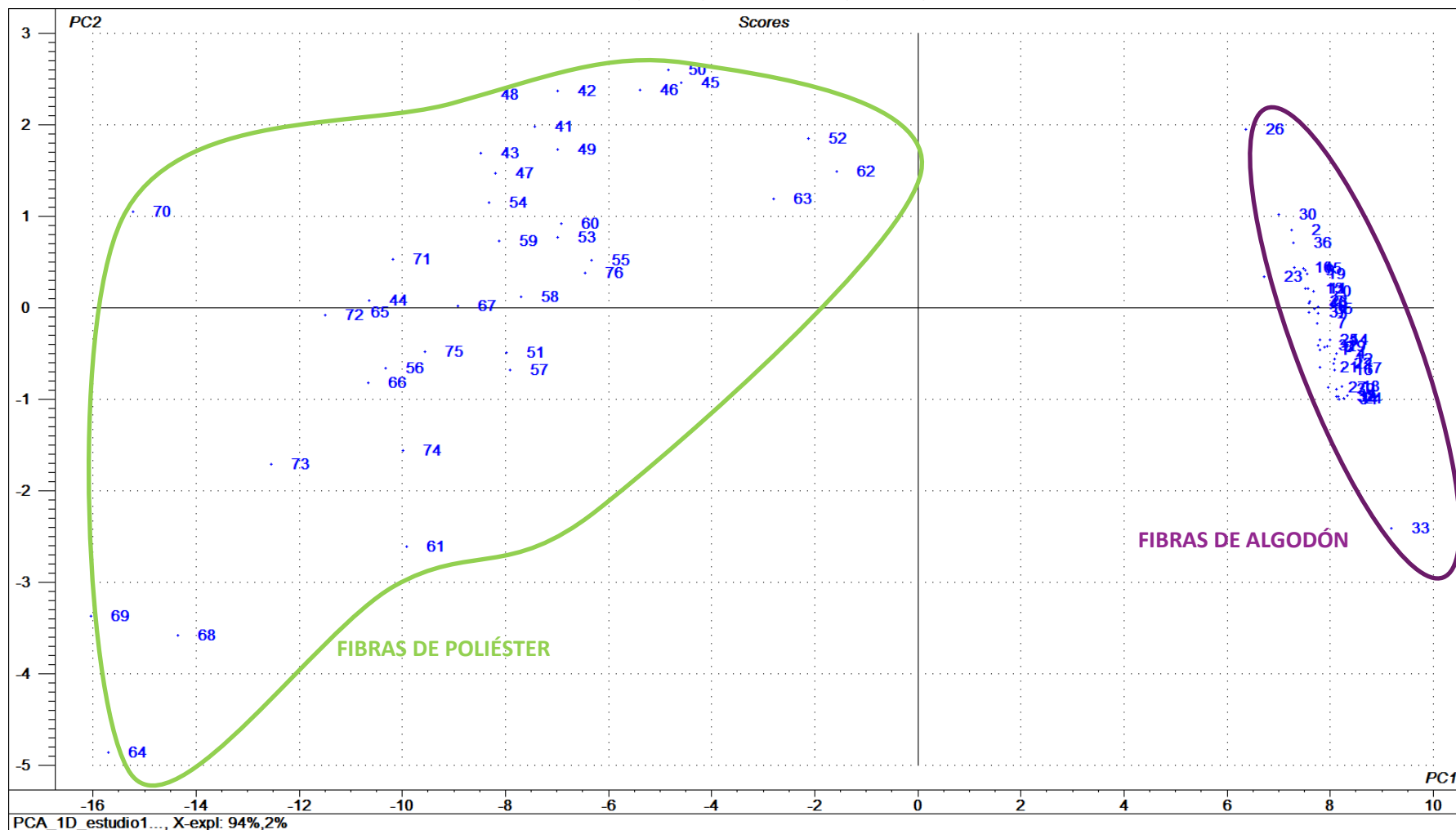
**PCA EN MODO PRIMERA DERIVADA 76 MUESTRAS DE ALGODÓN (1 a 40) Y POLIÉSTER (41 a 76)**


Gráfico 5. Scores para el estudio 1 (modo primera derivada)

PCA EN MODO SEGUNDA DERIVADA 76 MUESTRAS DE ALGODÓN (1 a 40) Y POLIÉSTER (41 a 76)

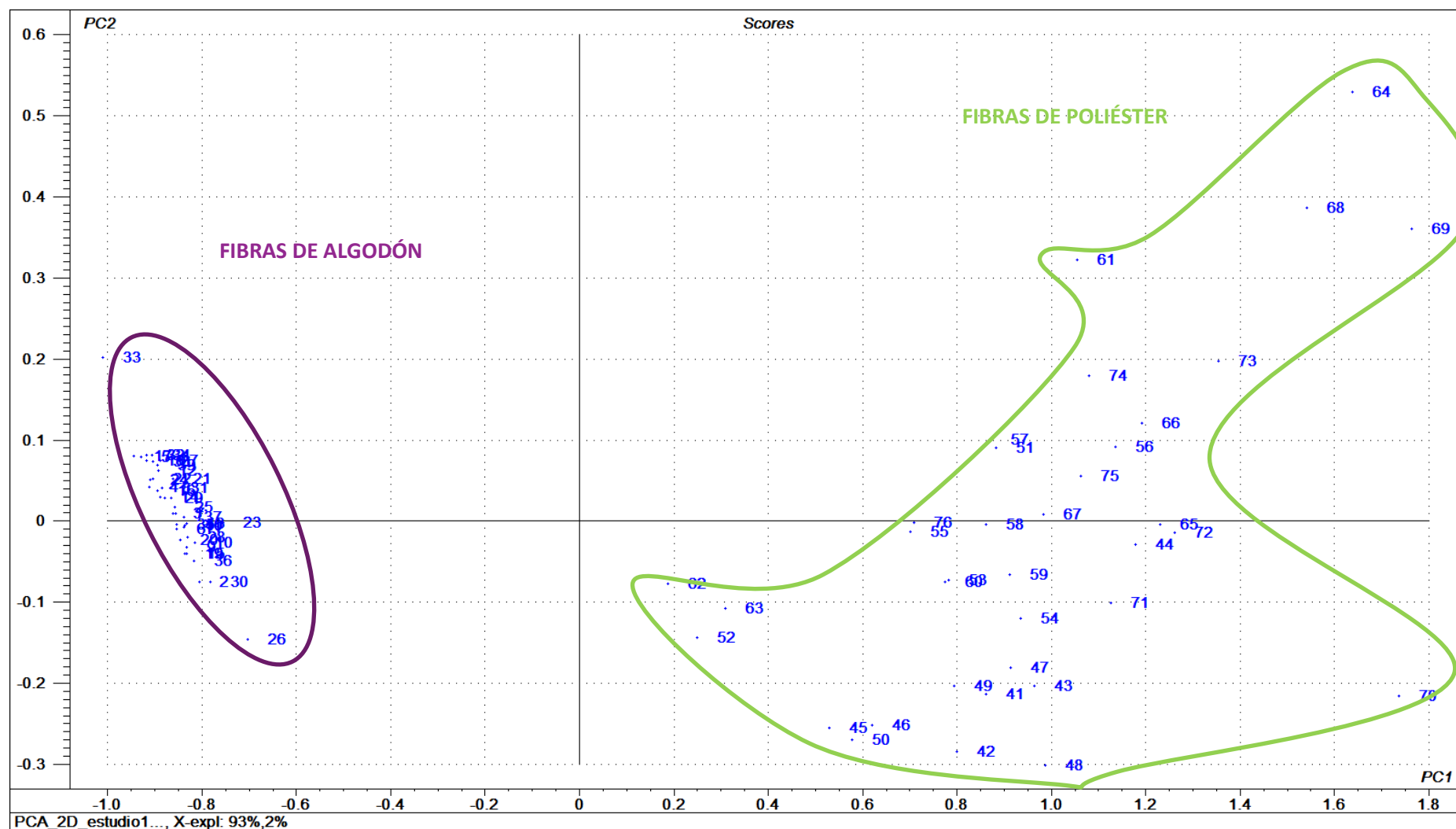


Gráfico 6. Scores para el estudio 1 (modo segunda derivada)

### 5.1.3 Discusión de resultados estudio 1

Los resultados obtenidos en la aplicación de PCA y observando las figuras anteriores, muestran con claridad que las muestras de algodón y poliéster aparecen agrupadas según su composición. Es decir, el método permite diferenciar algodón (fibra natural) y poliéster (fibra sintética). Los espectros superpuestos (ver figura 26) también manifiestan de manera visible esta semejanza entre las fibras, aportan y rectifican que el método es adecuado

En el gráfico también se puede apreciar que las muestras de poliéster tienen una dispersión más notoria. Probablemente esta dispersión entre las fibras de poliéster se deba a la composición del material. La composición del poliéster puede variar, ya que como se ha explicado antes, químicamente resultan de la polimerización de un ácido con un alcohol.

La finalidad de derivar la matriz de los espectros es aumentar las diferencias entre bandas anchas y solapadas de los espectros y también se utiliza para corregir los efectos de línea base. En este caso, el modo que mejor distingue y separa las muestras de algodón y poliéster al aplicar el PCA es el modo absorbancia. En modos primera y segunda derivada aumenta el agrupamiento de las muestras de algodón, pero se dispersan más las muestras de poliéster.

Respecto al subestudio 1, donde se quería valorar si el color de la muestra o el hecho de estar en forma de hilo o tejido afectaría a la clasificación, se realizaron PCA's en los tres modos ya descritos anteriormente (ver las figuras del Anexo II. apdo. A II.II). Se observó que ni el color ni el hilo o tejido afectaban a la identificación de la fibra. Estos resultados coinciden tanto para el grupo de fibras de algodón como para el de poliéster, en los dos grupos se verificó que el color no es un parámetro que pueda perjudicar en el registro ni en la obtención de espectros.

## 5.2 Estudio 2: Análisis de fibras sintéticas y artificiales

En este segundo estudio se pretende comprobar si el método es capaz de distinguir las fibras sintéticas más comúnmente utilizadas en el sector textil: poliéster, poliamida, nylon. Se ha optado por la realización de un subestudio previo enfocado a diferenciar el nylon y la poliamida.

### 5.2.1 Subestudio 2: Relación entre el nylon y la poliamida.

Se conoce que el nylon es un derivado de la poliamida, pero se pretende verificar si sus composiciones químicas son suficientemente parecidas o iguales como para ser tratados en un mismo grupo o por el contrario si tienen suficiente diferencia como para que el método permita distinguirlos.

#### 5.2.1.1 Registro de espectros

Una vez codificadas, se procede a la elección de las muestras a registrar. La lectura completa consta de:

Fibras sintéticas	Característica	Catálogo	Nº de muestras
Nylon	Hilo	PL2	24
Poliamida	Hilo	PA1	30
	Tejido	PA2	7
TOTAL			61

Tabla 14 Clasificación de hilos y tejidos del nylon y la poliamida por catálogo (ver Anexo I apdo. A I.V)

#### Nylon

En los catálogos conseguidos se dispone solo de muestras de hilos. Se realiza la lectura de todos los hilos del catálogo PL2, un total de 24 muestras de hilo de nylon, se registra cada uno de ellos. La variedad de colores será útil para saber si el color afecta a la hora de diferenciar o no a las fibras de poliamida y nylon.

#### Poliamida

El procedimiento es exactamente igual al registro de las muestras de nylon, pero con la ventaja que se podrán realizar registros de muestras de tejido. Se eligen 30 muestras de hilo del mismo catálogo PA1 y 7 muestras de tejido de un mismo catálogo PA2, un total de 37 muestras. El subestudio lo conforman 61 muestras, suficientes para llevar a cabo el objetivo deseado. Como se puede observar en la figura 27 los espectros ofrecen un indicio sobre su similitud, tienen los mismos grupos funcionales.

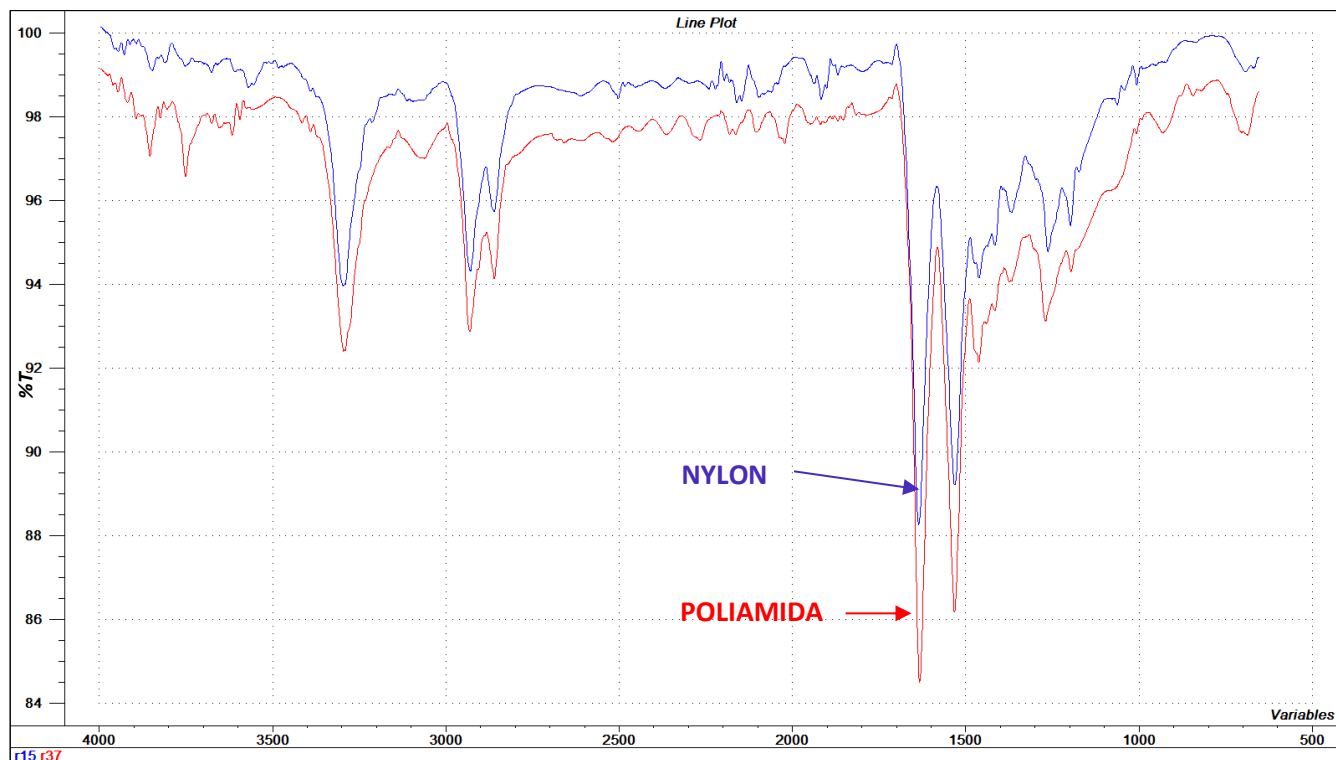


Fig. 30 Espectros de nylon (r15) y poliamida (r37)

### 5.2.1.2 Cálculos

Una vez registradas todas las muestras destinadas al subestudio 2 (nylon y poliamida), se lleva a cabo el procedimiento para la obtención de matrices por medio de cálculos matemáticos no supervisados (PCA).

#### 5.2.1.2.1 Creación de la matriz principal

Se genera una matriz principal con las 61 muestras de nylon y poliamida (hilo+tejido). La entrada de datos se realiza junto con la información de la tabla del Anexo III (apdo. A III.I)

- Primero se transcriben las 24 muestras de nylon-hilo
- Segundo 30 muestras de poliamida-hilo
- Tercero 7 muestras de poliamida-tejido

La entrada de las muestras, para la realización de la matriz, es irrelevante. Se optó por elegir primero el nylon sin ningún propósito específico. Todos los estudios en este punto son exactamente igual, el orden de entrada no afecta los parámetros de cálculo. La entrada de los registros debe coincidir con la tabla de muestras en los anexos de cada estudio.

#### 5.2.1.2.2 Análisis de los componentes principales (PCA)

El análisis de componentes principales se realizó en las 61 muestras de nylon y poliamida empleando el software *THE UNSCRAMBLER*. A continuación, y tras la creación de las matrices en modo absorbancia, modo primera derivada y segunda derivada, se presentan los PCA's de cada matriz. Se pretende escoger el modo más adecuado y el que ofrezca una imagen e idea clara del análisis para determinar si las muestras de nylon se separan o no de las muestras de poliamida.

Estudio de PCA
PCA_Abs_subestudio2_61m
PCA_1D_subestudio2_61m
PCA_2D_subestudio2_61m

Tabla 15 Modelo de los PCA's de las matrices del subestudio 2

#### 5.2.1.2.3 Resultados de PCA: Imágenes

Los resultados obtenidos integran tres gráficos fundamentales, aunque en el caso de este subestudio solo se mostrará el gráfico de *scores en modo primera derivada* (ver gráfico 7) ya que es el que ofrece mayor información.

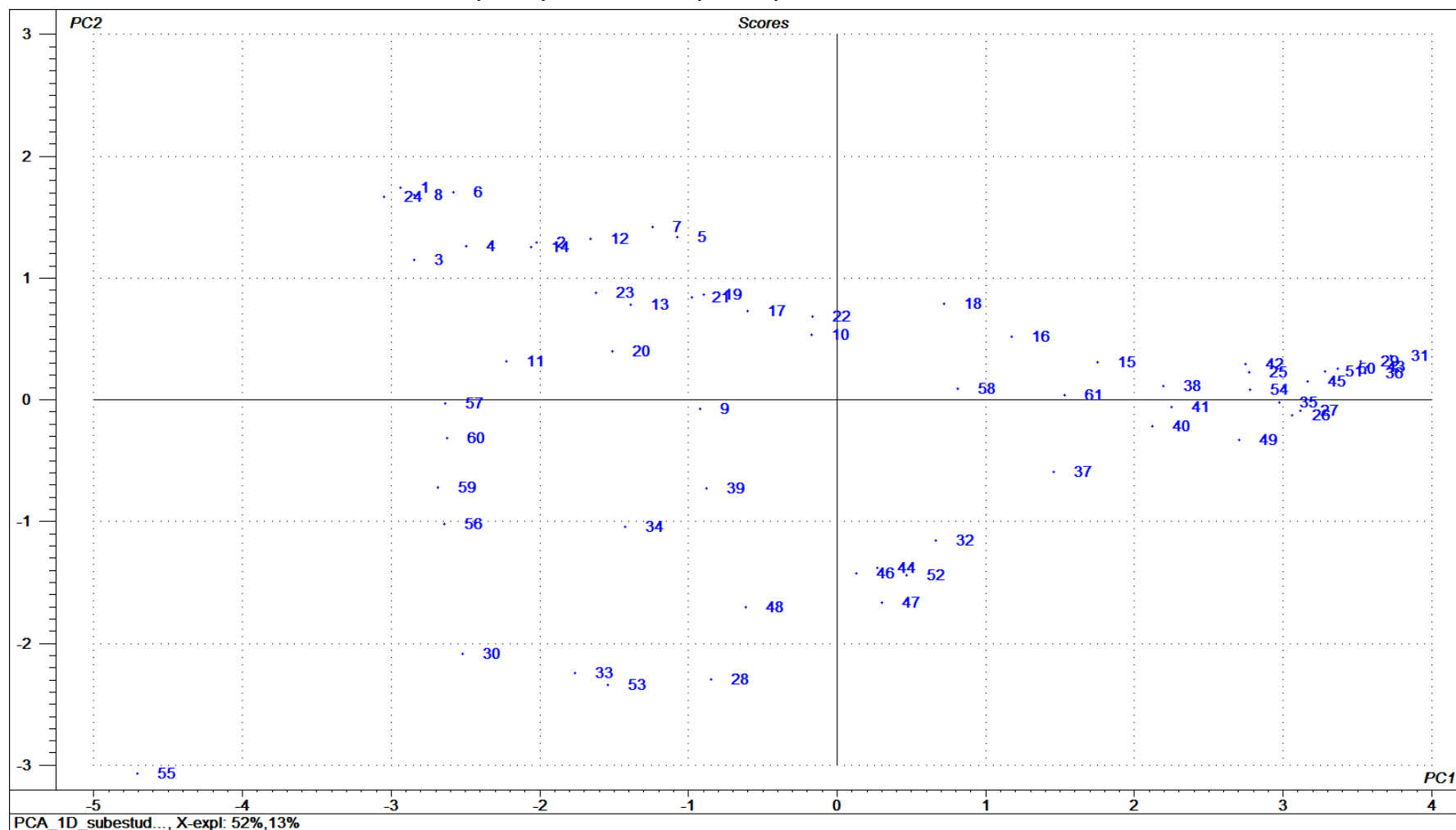
**PRIMERA DERIVADA 61 MUESTRAS DE NYLON (1 a 24) Y POLIAMIDA (25 a 61)**


Gráfico 7. Scores para el subestudio 2 (modo primera derivada)

### 5.2.1.3 Discusión de resultados subestudio 2

Como resultado inicial, se obtienen espectros con bandas y picos con una gran similitud. EL grupo amida (-CONH-), grupo funcional de la poliamida y del nylon, se localizan en el rango de  $1900-1650\text{ cm}^{-1}$ , para ser exactos en la región espectral rango  $3500-3220\text{ cm}^{-1}$  (N-H) y  $1650-1590\text{ cm}^{-1}$  (N-H) con una intensidad de banda fuerte[33]. Para confirmar que estos dos tipos de fibras son de la misma familia la figura 27 muestra claramente que tanto el nylon como la poliamida tienen los picos de los grupos funcionales en la misma región, verificando que las dos fibras son poliamídicas.

El subestudio de las dos fibras poliamídicas confirma que ambas fibras son de la misma familia, aunque se observa una ligera separación ya que las muestras de nylon aparecen básicamente en el cuadrante superior izquierdo del gráfico de scores en modo primera derivada (gráfico 7).

Si analizamos los gráficos en modo absorbancia y segunda derivada (ver Anexo III, apdo. A III.II) se observan las mismas conclusiones, pero presentando mayor dispersión.



### 5.2.2 Estudio 2. Registro de espectros

Una vez codificadas, se procede a la elección de las muestras a registrar. Para la construcción de este estudio el número de muestras se incrementan a 50 por grupo. La lectura completa consta de:

Tipo de fibra	Característica	Catálogo	Nº de muestras
Poliamida	Hilo-nylon	PL2	24
	Hilo-poliamida	PA1	19
	Tejido-poliamida	PA2	7
Poliéster	Hilo	PL2	20
		PL5	14
	Tejido	PL8	16
Viscosa	Hilo	V1	44
	Tejido	PA2	1
	Tejido	V7	6
TOTAL			150

Tabla 16 Clasificación de hilos y tejidos de fibras sintéticas por catálogo (ver Anexo I. apdo. A I.V, VI, VII)

#### Poliamida

En el estudio 2 se utilizaron las muestras registradas en el subestudio 2, después de verificar la relación química entre nylon y la poliamida. Se elige 50 muestras de las 61 registradas, una mezcla de nylon y poliamida intentado crear una variedad entre colores y estructuras físicas (hilos y tejidos). Las muestras descartadas se realizaron de forma aleatoria no se afinó el estudio extrayendo muestras específicas.

## Poliéster

En el caso de las muestras de poliéster ya se había obtenido el registro de 36 muestras entre hilo y tejido en el estudio 1. Sin embargo, es necesario registrar 12 muestras más para alcanzar el grupo de 50, por lo tanto, se registran 10 muestras de hilo del catálogo PL2 y 4 muestras de hilo del catálogo PL5, un total de 14. Es un procedimiento más rápido debido al almacenaje de registros del primer estudio.

## Viscosa

El registro consistió de 44 muestras de hilo del catálogo V1, un tejido de viscosa del catálogo PA2 y seis tejidos del catálogo V7, un total de 50 muestras. Hubo tejidos difíciles de registrar por su forma física por este motivo se realizaron más registros de hilos que de tejidos.

Posteriormente, la figura 30 presenta los espectros de cada grupo. La información de las frecuencias de absorción se ha realizado con los datos de la tabla 12.

- Poliéster→ Unidad de repetición del poliéster está conformada por un anillo aromático y un éster, el primero se localiza aproximadamente entre el rango  $730\text{-}650\text{ cm}^{-1}$  y el segundo se encuentra entre el rango  $1740\text{-}1715\text{ cm}^{-1}$
- Poliamida→ Grupo funcional amida se localiza entre el rango  $3500\text{-}3220\text{ cm}^{-1}$  (N-H) y  $1650\text{-}1590\text{ cm}^{-1}$  (N-H)
- Viscosa→ A partir de la celulosa, se encuentra entre el rango  $3700\text{-}3200\text{ cm}^{-1}$  y  $1100\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$

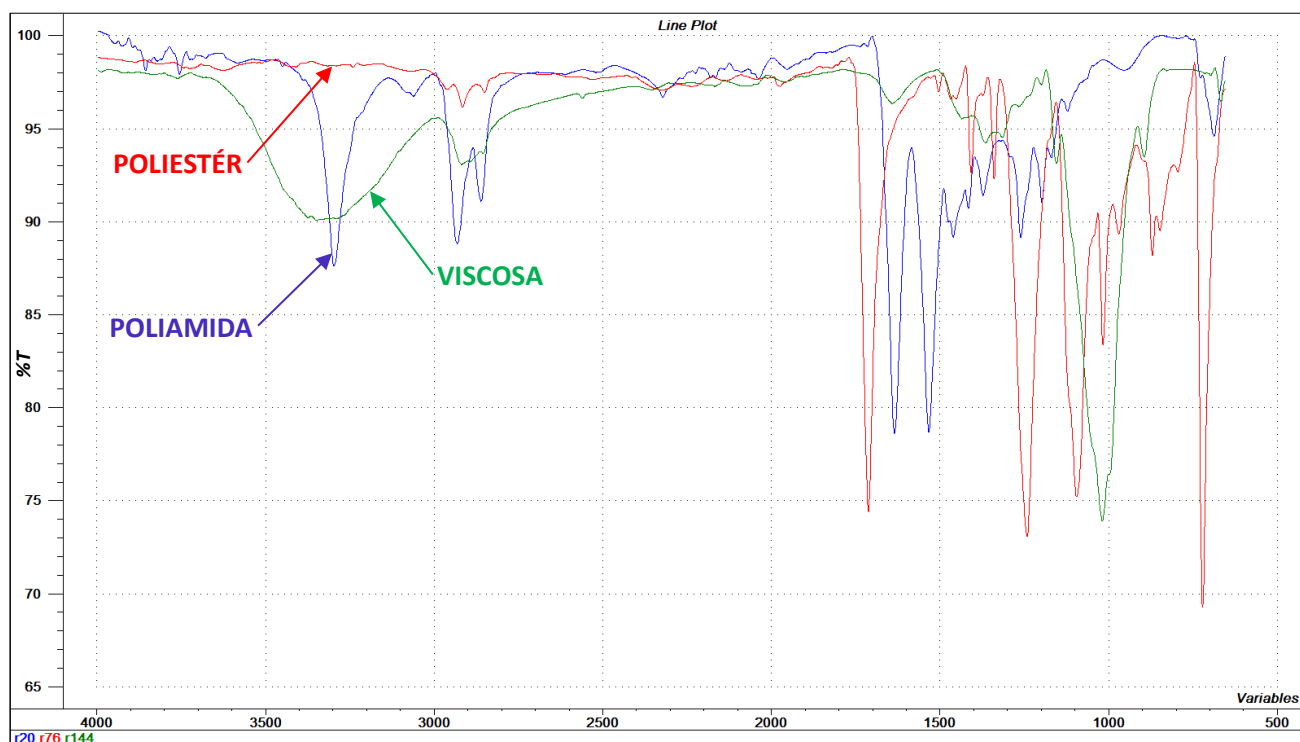


Fig. 31 Espectros de las fibras sintéticas: poliamida (r20), poliéster (r76) y viscosa (r144)

### 5.2.3 Cálculos

Una vez registradas todas las muestras destinadas al estudio 2 (poliamida, poliéster y viscosa), se preparan las matrices sobre las que posteriormente se aplicará el análisis de componentes principales (PCA), método matemático no supervisado, para la caracterización de las muestras.

#### 5.2.3.1 Creación de la matriz principal

Se genera una matriz principal con las 150 muestras de poliamida, poliéster y viscosa (hilo+tejido). La entrada de datos se realiza conforme a la información de la tabla del Anexo III (apdo. A III.I) que permite identificar inequívocamente cualquier muestra.

- Primero se transcriben las 24 muestras de nylon-hilo
- Segundo 19 muestras de poliamida-hilo
- Tercero 7 muestras de poliamida-tejido
- Cuarto 34 muestras de poliéster -hilo
- Quinto 16 muestras de poliéster-tejido
- Sexto 44 muestras de viscosa-hilo
- Séptimo 6 muestras de viscosa-tejido

#### 5.2.3.2 Análisis de los componentes principales (PCA)

El análisis de componentes principales se realizó en las 150 muestras de poliamida, poliéster y viscosa empleando el software *THE UNSCRAMBLER*. A continuación, y tras la creación de las matrices en modo absorbancia, modo primera derivada y segunda derivada, se presentan los PCA's de cada matriz. Se pretende escoger el modo más adecuado y el que ofrezca una imagen e idea clara del análisis para determinar si se pueden distinguir entre las fibras sintéticas.

Estudio de PCA
PCA_Abs_estudio2_150m
PCA_1D_estudio2_150m
PCA_2D_estudio2_150m

Tabla 17 Modelo de los PCA's de las matrices del estudio 2

---

### 5.2.3.3 *Resultados de PCA: Imágenes*

Los resultados obtenidos integran tres gráficos fundamentales,

- Gráfico 8: scores (ofrece mayor información sobre el método)
- Gráfico 9: residual vs leverage
- Gráfico 10: varianza explicada

A continuación, se presentan los gráficos obtenidos del PCA escogido: **modo primera derivada**.

**PRIMERA DERIVADA: 150 MUESTRAS DE POLIÉSTER (1 a 50), POLIAMIDA (51 a 100) Y VISCOSA (101 a 150)**

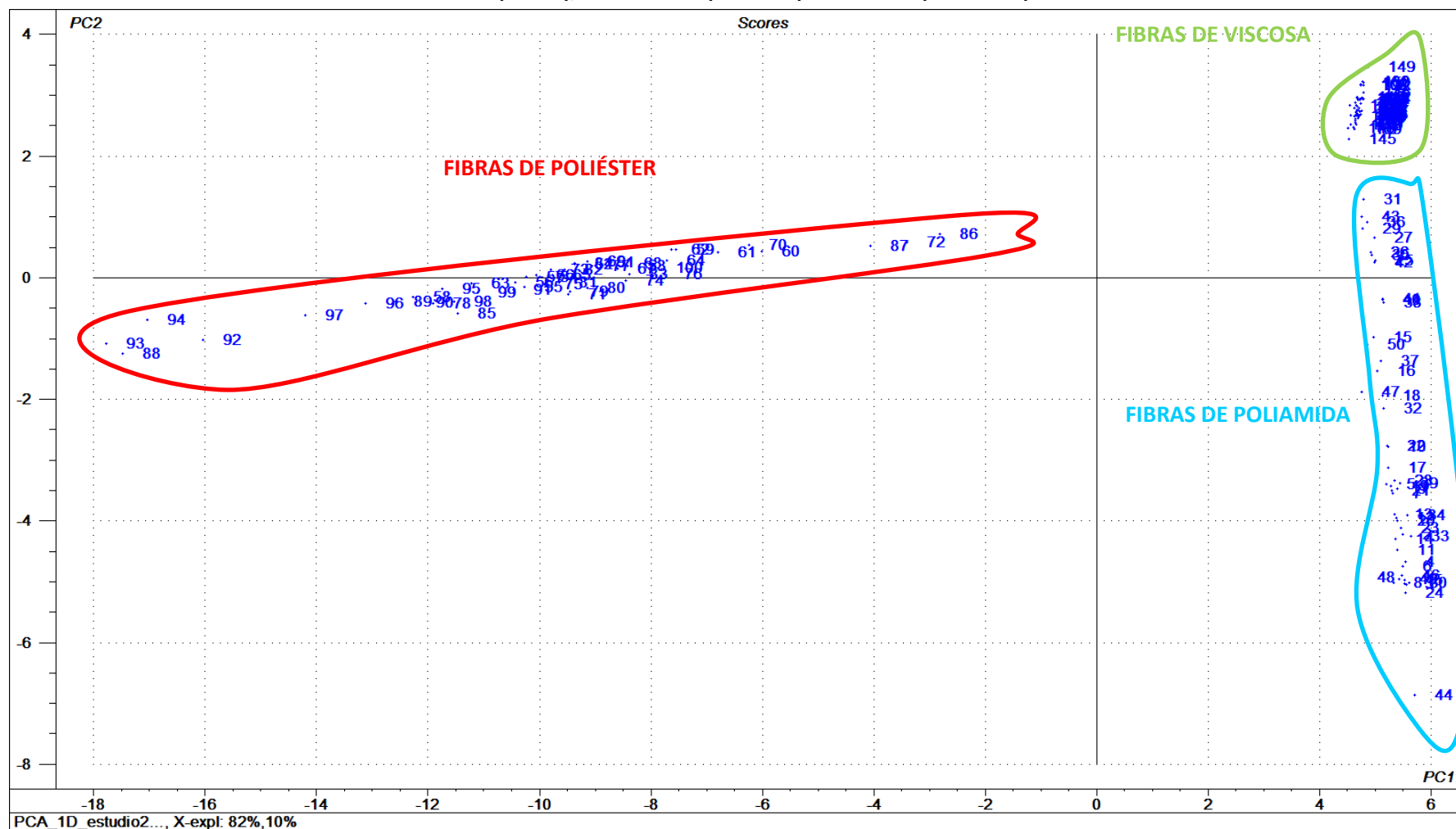


Gráfico 8. Scores para el estudio 2 (modo primera derivada)

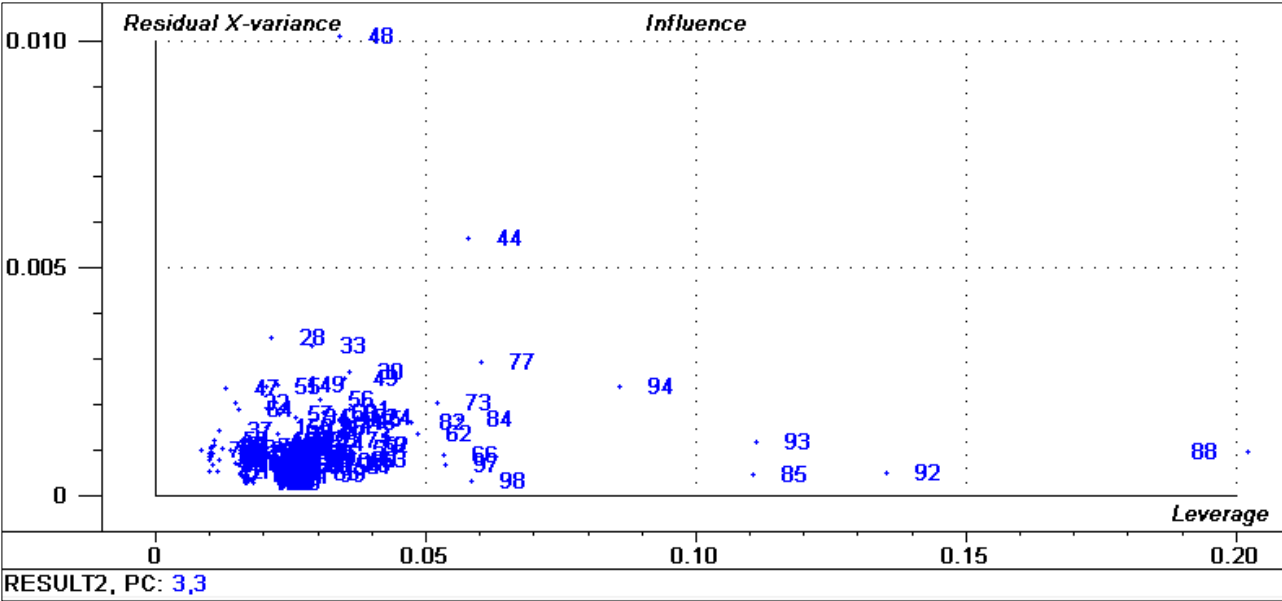


Gráfico 9 Residual vs leverage para el estudio 2 (modo primera derivada)

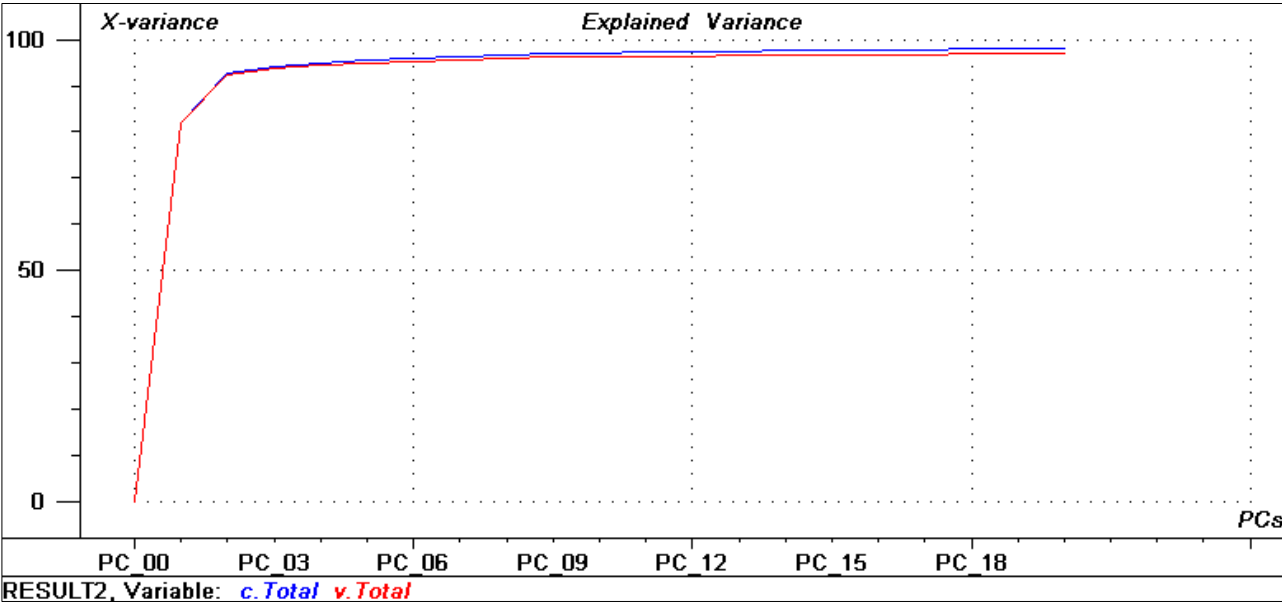


Gráfico 10 Varianza explicada para el estudio 2 (modo primera derivada)

---

#### 5.2.4 Discusión de resultados estudio 2

Después de desarrollar todo el proceso de análisis para la obtención de resultados del PCA se observa una clara agrupación por tipo de las fibras sintéticas (poliéster, poliamida) y artificiales (viscosa).

Uno de los grupos está formado por el nylon y la poliamida manifestando una notoria agrupación en comparación con los PCA's realizados en el subestudio 2 (ver gráfico 7) es decir, cuando estas fibras son analizadas por separado presentan una pequeña dispersión y casi se pueden distinguir entre sí. En cambio, sí son examinadas con muestras de constitución diferente tienden a unirse entre sí formando un mismo grupo.

La elección del PCA en modo primera derivada (ver gráfico 8, scores) se debe a que presenta mayor desigualdad entre las fibras de poliéster, poliamida (con nylon) y viscosa, pero al mismo tiempo aumenta la unificación de cada grupo.

El gráfico de Influence (ver gráfico 9) identifica dos outliers o valores atípicos con alto valor residual, como es el caso de la muestra 48 (poliamida-tejido) y un alto leverage, muestra 88 (poliéster-tejido). Son muestras que se separan del centro de la agrupación total de las 150 muestras. Es posible que se deba a la dificultad que presenta un tejido en el momento de la lectura en IR dando una mayor cantidad de ruidos espectrales. Para demostrar si es la lectura o el tejido el motivo de esta distancia del grupo se tendría que llevar a cabo un nuevo registro de la muestra y por consiguiente valorar la posibilidad de mantener la muestra dentro del grupo o no.

Finalmente, el gráfico de la varianza explicada (ver gráfico 10) ofrece la cantidad de componentes principales que se necesita para obtener la totalidad de la información, en este caso son 6 componentes que ofrecen un 98 % de información.

Las gráficas de los modos descartados, absorbancia y segunda derivada, se encuentran en el Anexo III (apdo. AIII.IV y apdo. AIII.V).

### 5.3 Estudio 3. Análisis de fibras naturales

Para comprobar si el método utilizado identificaba a también a fibras de composición natural se realiza el tercer estudio. El procedimiento es igual que el primer y segundo estudio utilizando fibras naturales de origen vegetal y de origen animal. El estudio reúne a un grupo extenso de fibras naturales el cual tiene como objetivo principal observar si el método diferencia las fibras según su composición y permite distinguir entre algodón, lino, lana y seda por medio de muestras de hilos y tejidos para cada grupo.

#### 5.3.1 Registro de espectros

Una vez codificadas, se procede a la elección de las muestras a registrar. Para la construcción de este estudio el número de muestras se incrementan a 200 por grupo. La lectura completa consta de:

Tipo de fibra	Característica	Catálogo	Nº de muestras
Algodón	Hilo	C3	25
	Tejido	C6	25
Lino	Hilo	L3	40
	Tejido	L3	10
Lana	Tejido	W3	50
Seda	Hilo	S1	28
	Tejido	S2	10
		S3	12
TOTAL			200

Tabla 18 Clasificación de hilos y tejidos de fibras naturales por catálogo (ver Anexo I. apdo. A I.I)



---

## **Algodón**

Las muestras de algodón destinadas al estudio 3 fueron las mismas que se registraron para el estudio 1 (40 muestras) aunque se sumaron diez registros más para alcanzar la cantidad prevista para cada grupo un total de 50 muestras por grupo. No presento dificultad alguna, se sumaron la misma cantidad de hilos y tejidos.

## **Lino**

El grupo de muestras de lino está conformado por hilos y tejidos, aunque en su mayoría la cantidad de hilos era mayor. El registro se pudo completar con 40 muestras de hilo del catálogo L3 y 10 de tejido del catálogo L3.

## **Lana**

Para el grupo de muestras de lana se obtuvieron en su totalidad tejidos, ya que en el material de catálogos no se disponía de ningún ejemplar con hilos. Por este motivo, las 50 muestras fueron tejidos del catálogo W3. El registro presentó algún inconveniente por la forma física de la lana descartando algunas muestras del registro.

## **Seda**

Las muestras de seda varían entre hilos y tejidos siendo 28 muestras de hilos del catálogo S1, 10 muestras de tejidos del catálogo S2 y 12 muestras del catálogo S3.

Posteriormente, la figura 32 presenta los espectros de cada grupo. La información de frecuencias de absorción se ha realizado con los datos de la tabla 12.

- Algodón → El algodón se localiza en el rango  $3700-3200\text{ cm}^{-1}$  y entre  $1100-1000\text{ cm}^{-1}$
- Lino → Se localiza en el rango  $3700-3200\text{ cm}^{-1}$  y entre  $1100-1000\text{ cm}^{-1}$
- Lana → Se encuentra entre el rango  $1670-1630\text{ cm}^{-1}$  y entre  $1570-1515\text{ cm}^{-1}$
- Seda → La seda se localiza entre el rango  $1670-1630\text{ cm}^{-1}$  y entre  $1250-1150\text{ cm}^{-1}$

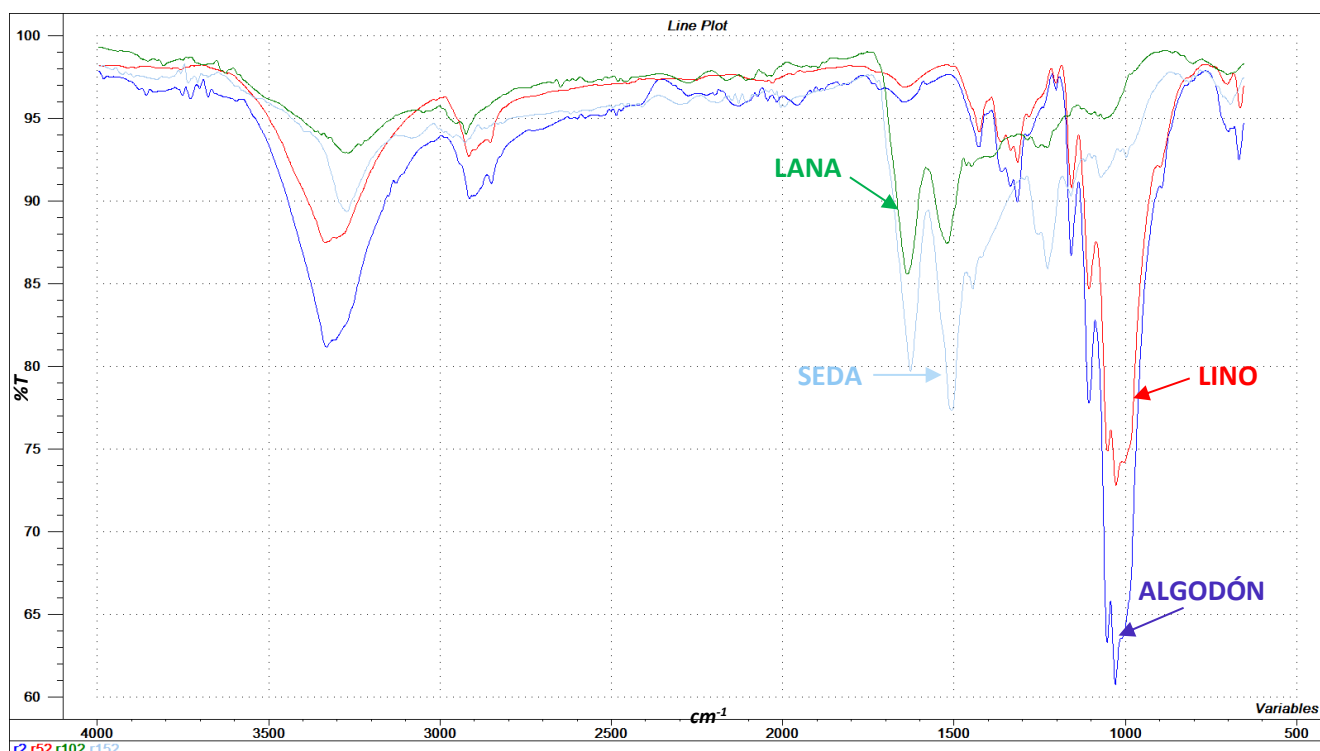


Fig. 32 Espectros de las fibras naturales: algodón, lino, lana y seda

### 5.3.2 Cálculos

Una vez registradas todas las muestras destinadas al estudio 3 (algodón, lino, lana y seda), se lleva a cabo el procedimiento para la obtención de matrices por medio de cálculos matemáticos no supervisados.

#### 5.3.2.1 Creación de la matriz principal

Se genera una matriz principal con las 200 muestras de algodón, lino, lana y seda. La entrada de datos se realiza junto con la información de la tabla del Anexo VI (apdo. A IV.I) que permite identificar inequívocamente cualquier muestra.

- Primero se transcriben las 25 muestras de algodón - hilo
- Segundo 25 muestras de algodón - tejido
- Tercero 40 muestras de lino - hilo
- Cuarto 10 muestras de lino – tejido
- Quinto 50 muestras de lana – tejido
- Sexto 28 muestras de seda – hilo
- Séptimo 22 muestras de seda – tejido

### 5.3.2.2 Análisis de los componentes principales (PCA)

El análisis de componentes principales se realizó en las 200 muestras de algodón, lino, lana y seda empleando el software *THE UNSCRAMBLER*. A continuación, y tras la creación de las matrices en modo absorbancia, modo primera derivada y segunda derivada, se presentan los PCA's de cada matriz. Se pretende escoger el modo más adecuado y el que ofrezca una imagen e idea clara del análisis para determinar si se pueden distinguir entre las fibras naturales.

Estudio de PCA
PCA_Abs_estudio3_200m
PCA_1D_estudio3_200m
PCA_2D_estudio3_200m

Tabla 19 Modelo de PCA's de las matrices del estudio 3: Fibras naturales

### 5.3.2.3 Resultados de PCA: Imágenes

Los resultados obtenidos integran tres gráficos fundamentales,

- Gráfico 8: scores (ofrece mayor información sobre el método)
- Gráfico 9: residual vs leverage
- Gráfico 10: varianza explicada

A continuación, se presentan los gráficos obtenidos del PCA escogido: **modo segunda derivada**.

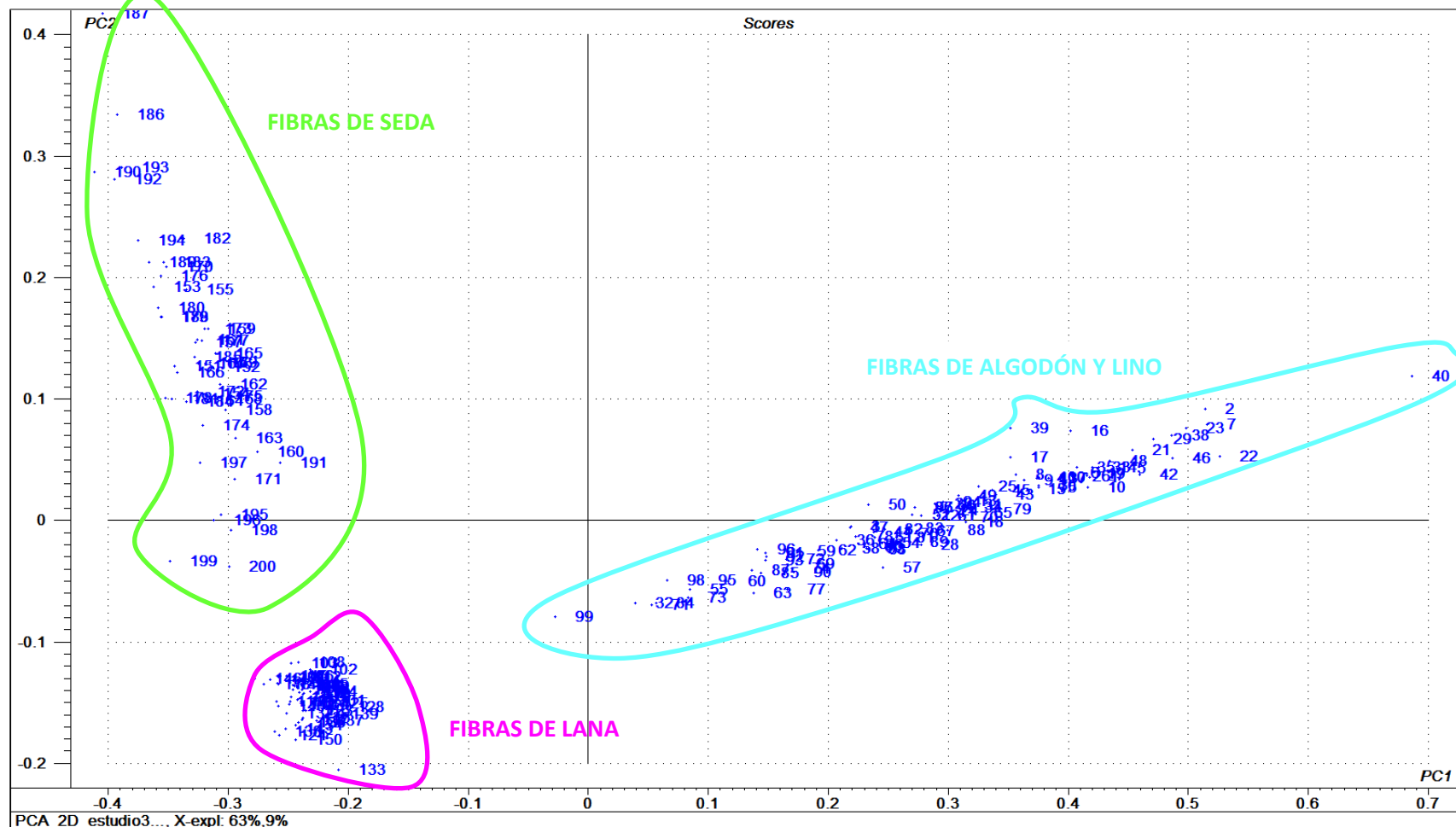
**SEGUNDA DERIVADA: 200 MUESTRAS DE ALGODÓN (1 a 50), LINO (51 a 100), LANA (101 a 150) Y SEDA (151 A 200)**


Gráfico 11. Scores para el estudio 3 (modo segunda derivada)

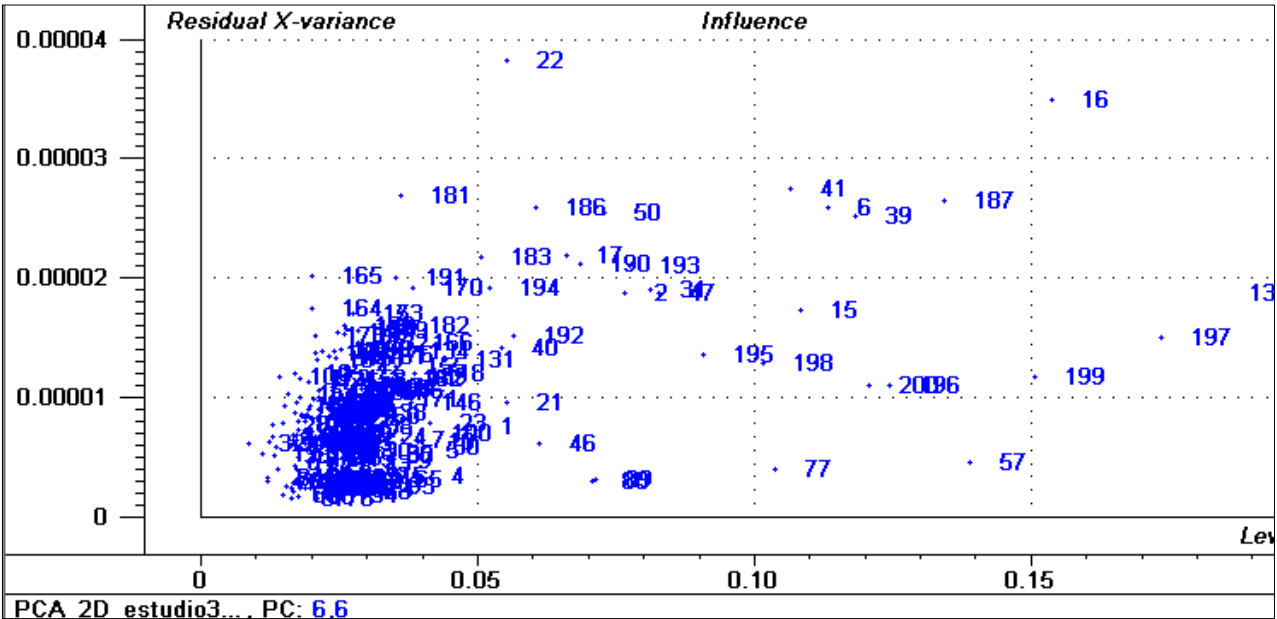


Gráfico 12 Residual vs leverage para el estudio 3 (modo segunda derivada)

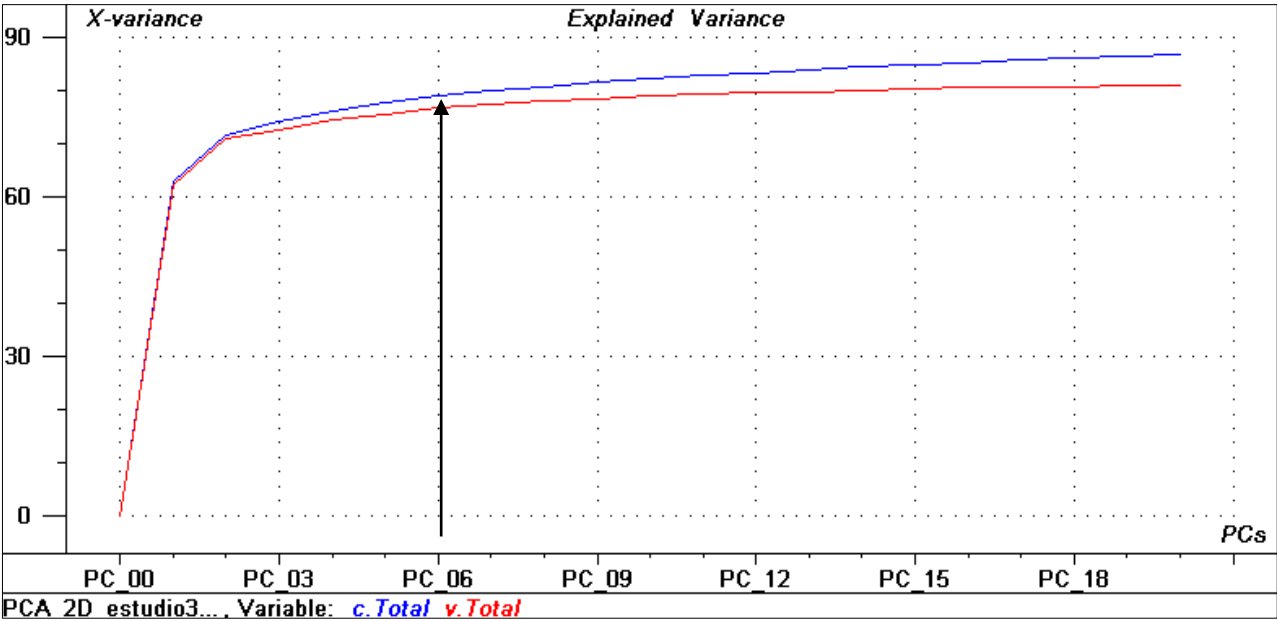


Gráfico 13 Varianza explicada para el estudio 3 (modo segunda derivada)

---

### 5.3.3 Discusión de resultados estudio 3

Los resultados obtenidos en las gráficas del PCA en modo segunda derivada muestran la agrupación total de las fibras de origen vegetal (algodón y lino), en cambio las fibras de origen animal (lana y seda) se separan, probablemente porque, aunque ambas son fibras proteicas en su composición química, corresponden a diferentes clases de proteínas.

El gráfico de scores (ver gráfico 11) que distribuye las muestras en el espacio bidimensional formado por los dos primeros componentes principales, muestra claramente tres grupos de fibras: lana, seda y algodón junto con lino. El primer componente ofrece el 63 % de la información mientras que el segundo componente solo un 9 %.

El gráfico de la Influence (ver gráfico 12) presenta un valor atípico muy influyente, muestra 16 (algodón-tejido), ya que se encuentra en el cuadrante derecho superior y por lo tanto se aleja del modelo descrito e influye negativamente en los valores de calibración. También se detectan algunas muestras cerca de este valor atípico siendo muestras de algodón y de viscosa. En un posterior trabajo se deberían analizar en profundidad estas muestras y por qué se sitúan en este cuadrante.

El gráfico de la varianza explicada en modo segunda derivada (ver gráfico 13) revela que con seis componentes se puede obtener hasta un 75 % de la información. El modo segunda derivada, en comparación con los resultados de los otros modos, necesita más componentes para explicar el 75% de la información, pero tiene menos dispersión. Este fue el motivo por el cual se seleccionó el modo en segunda derivada.

Las gráficas de los modos descartados, absorbancia y primera derivada, se encuentran en el Anexo IV (apdo. AIV.II y apdo. AIV.III).

A consecuencia de estos resultados se realiza un subestudio 3 para analizar si es posible diferenciar las dos fibras de origen vegetal, algodón y lino, e intentar clasificarlas por separado.

### 5.3.4 Subestudio 3. Anàlisis entre fibras naturales de origen vegetal (algodón y lino)

Utilizando la matriz principal del estudio 3 en modo absorbancia, primera y segunda derivada se lleva a cabo los PCA's de cada uno, la finalidad de este subestudio es observar si hay diferencia entre las fibras de origen de vegetal. La composición de las fibras vegetales, casi en su totalidad, es celulosa. La probabilidad de agrupación es elevada.

#### 5.3.4.1 Anàlisis de los componentes principales (PCA)

El análisis de componentes principales se realizó en las 100 muestras de algodón y lino, empleando el software *THE UNSCRAMBLER*. A continuación, y tras la creación de las matrices en modo absorbancia, modo primera derivada y segunda derivada, se presentan los PCA's de cada matriz. Se pretende escoger el modo más adecuado y el que ofrezca una imagen e idea clara del análisis para determinar si se pueden distinguir entre las fibras naturales de origen vegetal.

Estudio de PCA
PCA_Abs_subestudio3_100m
PCA_1D_subestudio3_100m
PCA_2D_subestudio3_100m

Tabla 20 Modelo de PCA's de las matrices del subestudio 3: fibras naturales de origen vegetal

#### 5.3.4.2 Resultados de PCA: imágenes

Los resultados obtenidos integran tres gráficos fundamentales, aunque en el caso de este subestudio 3 solo se mostrará el gráfico de *scores en modo segunda derivada* (ver gráfico 14)

**SEGUNDA DERIVADA: 200 MUESTRAS DE ALGODÓN (1 a 50) Y LINO (51 a 100).**


Gráfico 14. Scores para el subestudio 3 (modo segunda derivada)



### **5.3.4.3      *Discusión y resultados subestudio 3***

Los resultados de PCA del subestudio 3 confirman la similitud entre fibras de algodón y lino a causa de su composición química, formada mayoritariamente por celulosa.

El gráfico de scores (ver gráfico 14) corrobora la igualdad de estos dos tipos de fibras. Pero si observamos en detalle existen unas muestras de algodón (muestras 2,6,15,16,17,31,39,47,50) fuera de la agrupación principal.

No obstante, este subestudio no se diseñó específicamente para evaluar los factores relacionados con las muestras más dispersas, se creó para observar si había la posibilidad de diferenciar las muestras de algodón y lino, ambas de origen vegetal, obteniendo nuevamente resultados que confirman el método como positivo observando una agrupación notoria de fibras de composición química similar.

Se concreta una vez más que el modo escogido, segunda derivada, tiene mayor capacidad de agrupación, en este caso en concreto. Las gráficas de los modos descartados, absorbancia y primera derivada, se encuentran en el Anexo IV (apdo. AIV.IV y apdo. AIV.V).

---

## 6. Conclusiones y propuestas de futuro

El objetivo de este trabajo es validar un método que permita clasificar los distintos tipos de fibras textiles, contribuyendo así a su posible separación para facilitar su reutilización y reciclaje. Este trabajo se realiza en colaboración con la Fundación Fitex.

De este análisis se deducen las siguientes conclusiones:

- Se ha obtenido una base de datos de espectros de FTIR para 50 fibras de algodón (hilo y tejido), 50 de fibras de poliéster (hilo y tejido), 50 muestras de lino (hilo y tejido), 50 muestras de lana(tejido), 50 muestras de seda (hilo y tejido), 50 muestras de poliamida y nylon (hilo y tejido), 50 muestras de viscosa (hilo y tejido). Esto permite clasificar una muestra desconocida y saber que fibra es por comparativa de resultados con la base de datos de espectros que se ha obtenido.
- Se ha comprobado que la técnica de FTIR con módulo de ATR permite distinguir entre fibras naturales y entre fibras sintéticas simplemente aplicando un tratamiento matemático de Análisis de Componentes Principales no supervisado, utilizando el programa The UnScrambler.
- Esta técnica no permite distinguir claramente entre nylon y poliamida y tampoco entre algodón y lino, ya que su estructura química es muy similar y los correspondientes espectros de IR no son suficientemente distintos. Aun así, dado que se observa una ligera diferencia entre ellos es posible que, con un tratamiento matemático supervisado, se consigan clasificar y diferenciar mejor.
- Asimismo, se ha comprobado que no existe diferencia entre registrar hilo o tejido de un mismo tipo de fibra y que el pigmento o colorante utilizado para dar color a la fibra no influye en la clasificación de las distintas fibras mediante el método estudiado.

Para futuras investigaciones debería comprobarse si este método permite separar tejidos con mezclas de distintas fibras en varias proporciones o incluso pueda llegar a permitir su cuantificación. Asimismo, debería verificarse si este método sería fácilmente implementable en continuo a nivel industrial, así como la viabilidad económica de un sistema de este tipo.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. Wrap, «Textiles Market Situation Report», 2016. [En línea]. Disponible en: [http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Textiles\\_Market\\_Situation\\_Report\\_2016.pdf](http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Textiles_Market_Situation_Report_2016.pdf). [Accedido: 16-mar-2019].
- [2] I:COLUTION GMBH, «RETHINK, REUSE, RECYCLE, RENEW», *Ico-spirit*. [En línea]. Disponible en: <https://www.ico-spirit.com/en/>. [Accedido: 13-mar-2019].
- [3] C. Greenpeace, «Timeout for fast fashion», 2017-06-29. [En línea]. Disponible en: <https://www.greenpeace.org/archive-international/Global/international/briefings/toxics/2016/Fact-Sheet-Timeout-for-fast-fashion.pdf>. [Accedido: 16-mar-2019].
- [4] Prof. Sheng Lu, «Global Trade of Used Clothing», *Universidad de Delaware-Departamento de estudios de moda.*, Universidad de Delaware -Departamento de estudios de moda., Whashington EEUU, 2015.
- [5] ED Economía Digital, «La industria textil no sabe qué hacer con la ropa usada». [En línea]. Disponible en: [https://www.economiadigital.es/tecnologia-y-tendencias/ropa-usada-industria-textil-inditex\\_406842\\_102.html](https://www.economiadigital.es/tecnologia-y-tendencias/ropa-usada-industria-textil-inditex_406842_102.html). [Accedido: 16-mar-2019].
- [6] The Wall Street, «La red de reciclaje global de Fast-Fashion Castoffs Fuel».
- [7] S. A. Editorial Ecoprensa, «La industria textil solo recicla el 20% de la ropa que produce - elEconomista.es», *elEconomista.es*. [En línea]. Disponible en: <https://www.eleconomista.es/empresas-finanzas/agua-medioambiente/noticias/8648445/10/17/La-industria-textil-solo-recicla-el-20-de-la-ropa.html>. [Accedido: 13-mar-2019].
- [8] P. Martínez de las Marías, *Química y física de las fibras textiles*. Madrid : Alhambra, 1976.
- [9] J. C. Medrano, *Fibras textiles : tratado teórico-práctico sobre reconocimiento y distinción de las principales textiles empleadas en la industria :: Fons bibliogràfic s. XIX (Centre de Documentació i Museu Tèxtil)*. Bilbao, 1889.
- [10] E. Carrera Gallissà, «Física textil: propiedades físicas para caracterizar la calidad de las fibras textiles», *Universitat Politècnica de Catalunya*, 2017.
- [11] J. Gacén Guillén y J. Maillo Garrido, *Algodón y celulosa : estructura y propiedades*. Terrassa : UPC, 1987.
- [12] F. A. Arrebola Molina, M. Valera Córdoba, y A. Molina Alcalá, *Caracterización de la lana del merino autóctono español*. [Sevilla] : Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca, 2004.
- [13] J. Carrión, «MATERIALS PEL DISSENY DE PRODUCTES TÈXTILS», *Universitat Tècnica de Catalunya*, 1998.
- [14] D. Barcelona, «Fibras textiles : tratado teórico-práctico sobre reconocimiento y distinción de las principales textiles empleadas en la industria :: Fons bibliogràfic s. XIX (Centre de Documentació i Museu Tèxtil)», *Fibras textiles : tratado teórico-práctico sobre reconocimiento y distinción de las principales textiles empleadas en la industria :* [En línea]. Disponible en: <http://mdc.csuc.cat/cdm/ref/collection/fonsXIXCDMT/id/132?> [Accedido: 09-mar-2019].

- 
- [15] J. Gacén Guillén, *Fibras de Poliester*. Terrassa : Universitat Politècnica de Catalunya, 1991.
- [16] J. M. de Soroa y Pineda, *Las Fibras textiles / por José María de Soroa*. [Madrid] : Ministerio de Agricultura. Sección de Publicaciones, Prensa y Propaganda, 1941.
- [17] T. Erhardt, *Tecnología textil básica*. México : Trillas, 1980.
- [18] G. Guillén y Joaquín, *Fibras de Poliamida. Desarrollo y Previsiones*. Barcelona: Terrasa Unniversidad Técnica de Cataluña, 1995.
- [19] I. bureau standardisation of man-made fibers BISFA, «TERMINOLOGY OF MAN-MADE FIBRES 2017 Edition (review of 2009 edition)», Belgium, 2017.
- [20] D. A. Skoog, F. J. Holler, T. A. Nieman, y M. del C. Martín Gómez, *Principios de análisis instrumental*. Madrid [etc.] : McGraw-Hill Interamericana, 2001.
- [21] H. A. Strobel, *Instrumentación química : estudio sistemático del análisis instrumental*. México : Limusa, 1982.
- [22] R. T. Conley, *Espectroscopia infrarroja / Versión española de J. Calderón Martínez; R. Avendaño Ruiz*. Madrid : Alhambra, 1979.
- [23] M. R. Cantero Gómez, «Aplicació de l'espectroscòpia d'infraroig a l'anàlisi de control a les indústries adobera i paperera», Universitat Autònoma de Barcelona, 2012.
- [24] A. María Rodríguez, Carlos, «Transformada de Fourier : aplicaciones al procesamiento del señales», Universidad Técnica de Cataluña, 2017.
- [25] J. J. González Vidal, «Identificación automática de espectros Raman de pigmentos mediante análisis por componentes principales», Universitat Politècnica de Catalunya, 2011.
- [26] F. Llorente Galera, *Introducción a los componentes principales / Francisco Llorente Galera*. Barcelona : el autor, 1995.
- [27] G. Ramis Ramos, *Quimiometría / Guillermo Ramis Ramos, M<sup>a</sup> Celia García Álvarez-Coque*. Madrid : Síntesis, 2001.
- [28] J. R. Lucio Gutiérrez, «Aplicación de Métodos Quimiométricos para la Caracterización y Control de Calidad.», 2012.
- [29] T. Unscrambler, «Tutorials». ComponentOne Doc-To-Help with Mlcrosoft.
- [30] T. U. U. G. 1996 CAMO AS, «The Unscrambler», 1996.
- [31] K. Varmuza y P. Filzmoser, *Introduction to multivariate statistical analysis in chemometrics*. Boca Raton : CRC Press, 2009.
- [32] CAMO, «The Unscrambler X v10. 3 User Manual», *User manual*, n.º 47. p. 1370, 2014.
- [33] J. Gacén Guillén, *Fibras de poliamida*. Terrassa : UPC, 1986.

## ANEXO I. Clasificación de catálogos y cuantificación de muestras

### Apdo. A I.I Catálogos y muestras de algodón

MUESTRAS TEXTILES				FITEX	
	CÓDIGO CATÁLOGO	CATÁLOGO	CONTENIDO	NÚMERO DE MATERIALES	NÚMERO DE MATERIAL
<b>A L G O D Ó N</b>	C1	Filartex 1005 organic cotton	algodón 100%	1	12 tejidos
	C2	Akkabi (spring sumer 19)	algodón 100%	1	18 hilos
	C3	Filartex Galassia & florida	algodón 100%	1	200 hilos
	C4	Filartex yarns every wear	algodón 100%	1	4 tejidos
			algodón 85%/ lana merino	1	1 tejidos
	C5	770 chevron herringbone	algodón 100%	1	30 tejidos
	C6	Emilcotoni	algodón 100%	4	120 tejidos
	C7	lafil spring summer	algodón 100%	3	6 tejidos
			mezclas	8	1 tejido
	C8	Filmar	algodón 100%	23	1 tejido
	C9	Catálogo artesanal	algodón 100%	1	tejido

### Apdo. A I.II Catálogos y muestras de lana

MUESTRAS TEXTILES				FITEX	
	CÓDIGO CATÁLOGO	CATÁLOGO	CONTENIDO	NÚMERO DE MATERIALES	NÚMERO DE MATERIAL
<b>L A N A</b>	W1	Maestro (Tollegno 1900)	lana cashmere 100%	1	30 tejidos
	W2	Classic collection (Tollegno 1900)	lana merino 100%	1	9 tejidos
			mezclas algodón	1	1 tejido
			elité	1	1 tejido
			poliacrílico	1	2 tejidos
			viscosa	1	1 tejido
	W3	Tollegno 1900 luxury	lana 100%	2	3 tejidos
			lana/seda	2	3 tejidos
			lana/elité	1	1 tejido
	W4	Tollegno 1900 collection	lana 100%	2	4 tejidos
			lana/seda	2	2 tejidos
	W5	Catálogo artesanal	lana 100%	12	7 tejidos
			lana-mohair	2	1 tejido

**Apdo. A I.III Catálogos y muestras de seda**

MUESTRAS TEXTILES				FITEX	
	CÓDIGO CATÁLOGO	CATÁLOGO	CONTENIDO	NÚMERO DE MATERIALES	NÚMERO DE MATERIAL
<b>S E D A</b>	S1	Filitaly-lab cosmopolitan	seda 100%	1	28 hilos
			seda 100%	1	8 tejidos
	S2	Filitaly-lab spring summer 2019	seda 100%	1	5 tejidos
			algodón 100%	1	2 tejidos
			cáñamo 100%	1	2 tejidos
			mezclas	17	1 tejido
	S3	Catálogo artesanal	seda 100%	25	1 tejido

**Apdo. A I.IV Catálogos y muestras de lino**

MUESTRAS TEXTILES				FITEX	
	CÓDIGO CATÁLOGO	CATÁLOGO	CONTENIDO	NÚMERO DE MATERIALES	NÚMERO DE MATERIAL
<b>L I N O</b>	L1	Sinfonia rigoroso	lino orgánico 100%	1	24 hilos
	L2	Filpiú Papiro	lino largo 100%	1	16 hilos
				1	2 tejidos
	L3	Toscana	lino 100%	1	132 hilos
			lino 100%		7 tejidos
	L4	Catálogo artesanal	lino 100%	4	1 tejido

**Apdo. A I.V Catálogos y muestras de poliamida**

MUESTRAS TEXTILES				FITEX	
	CÓDIGO CATÁLOGO	CATÁLOGO	CONTENIDO	NÚMERO DE MATERIALES	NÚMERO DE MATERIAL
<b>P O L I A M I D A</b>	PA1	Gommato (new mill)	poliamida 100%	1	30 hilos
			poliamida 100%	1	2 tejidos
			poliamida 96%	1	1 tejido
	PA2	ISY spring-summer 2019	poliamida 100%	1	5 tejidos
			seda 100%	1	1 tejido
			viscosa 100%	1	1 tejido
			mezclas	7	4 tejido
	PA3	Cryystal 112	poliamida 100%	1	1 tejido
	PA4	Milifili	poliamida 100%	1	2 tejido

**Apdo. A I.VI Catálogos y muestras de poliéster**

MUESTRAS TEXTILES				FITEX	
	CÓDIGO CATÁLOGO	CATÁLOGO	CONTENIDO	NÚMERO DE MATERIALES	NÚMERO DE MATERIAL
<b>P O L I É S T E R</b>	PL1	Filosophy (spring summer 2016)	poliester 100%	1	28 hilos
	PL2	Filati Bemiva	nylon 100%	1	72 hilos
			poliester 100%	1	48 hilos
	PL3	IT collection	poliester 100%	1	3 tejidos
			poliester 100%	2	8 hilos
	PL4	pixel 4-8	poliester 100%	1	15 hilos
				1	1 tejido
		gi.ti.bi Dim	poliester 100%	1	14 hilos
	PL5			1	1 tejido
	PL6	sinfonia	poliester reciclado100%	1	14 hilos
					1 tejido
	PL7	ISY 4 seasons	poliester 100%	1	4 tejidos
			poliamida 100%	1	2 tejidos
			mezclas	20	1 tejido
	PL8	Catálogo artesanal	poliester 100%	17	1 tejido

**Apdo. A I.VII Catálogos y muestras de viscosa**

MUESTRAS TEXTILES				FITEX	
	CÓDIGO CATÁLOGO	CATÁLOGO	CONTENIDO	NÚMERO DE MATERIALES	NÚMERO DE MATERIAL
<b>V I S C O S A</b>	V1	Viscose yarn 2016-2017	viscosa 100%	1	64 hilos
	V2	Cipro	viscosa 100%	1	2 tejidos
			viscosa - elástomei	4	1 tejido
			viscosa-poliéster	1	1 tejido
	V3	Gi.ti.bi Leslie	viscosa-poliéster	1	20 hilos
				1	1 tejido
	V4	Gi.ti.bi Mercurio	viscosa-poliamida	1	24 hilos
				1	16 hilos
	V5	Milefili	viscosa-poliéster	1	40 hilos
	V6	YSI Venus	viscosa 100%	1	30 hilos
					1 tejido
	V7	Catálogo artesanal	viscosa 100%	1	1 tejido

## Anexo II. Estudio1: Fibras de algodón y fibras de poliéster

### Apdo. A II.I Base de datos de muestras registradas de algodón y poliéster

<b>ESTUDIO 1 - ALGODÓN (fibra natural) Y POLIÉSTER (fibra sintética)</b>					
<b>Número total de muestras</b>	<b>Número de muestras por grupo</b>	<b>Número de muestras por catálogo</b>	<b>Colores</b>	<b>Tipo de muestra</b>	<b>CÓDIGO MUESTRA</b>
1	1	1	Amarillo (AM)	Algodón hilo	C3_AM_1H_28-L7gialloM
2	2	2	Azul claro (AZ/CL)	Algodón hilo	C3_AZ-CL_1H_4-6NcloudsM
3	3	3	Azul oscuro (AZ/OS)	Algodón hilo	C3_AZ-OS_1H_4-7PcosmosES
4	4	4	Blanco (BL)	Algodón hilo	C3_BL_1H_28-8LmeringaC
5	5	5	Crudo (CR)	Algodón hilo	C3_CR_1H_15-P9pannaC
6	6	6	Fucsia (FUC)	Algodón hilo	C3_FUC_1H_17-B5fuxSS
7	7	7	Gris claro (GR/CL)	Algodón hilo	C3_GR-CL_1H_15-BRperlaC
8	8	8	Gris oscuro (GR/OS)	Algodón hilo	C3_GR-OS_1H_158NtortoraS
9	9	9	Lila claro (LI/CL)	Algodón hilo	C3_LI-CL_1H_19-87melissaES
10	10	10	Lila oscuro (LI/OS)	Algodón hilo	C3_LI-OS_1H_19-9AcrocusES
11	11	11	Marrón claro (MA/CL)	Algodón hilo	C3_MA-CL_1H_14-8GpapiroC
12	12	12	Marrón oscuro (MA/OS)	Algodón hilo	C3_MA-OS_1H_14-VGbrownS
13	13	13	Naranja (NA)	Algodón hilo	C3_NA_1H_10-C1papaiaSS
14	14	14	Negro (NE)	Algodón hilo	C3_NE_1H_2-99nero
15	15	15	Ocre (OCR)	Algodón hilo	C3_OCR_1H_16-BANudeM
16	16	16	Pastel (PA)	Algodón hilo	C3_PAS_1H_16-P2saharaC
17	17	17	Rojo (RJ)	Algodón hilo	C3_RJ_1H_11-L1rossoSS
18	18	18	Rosa (RS)	Algodón hilo	C3_RS_1H_17-1LpinkM
19	19	19	Verde claro (VE/CL)	Algodón hilo	C3_VE-CL_1H_7-TDKiwiM
20	20	20	Verde oscuro (VE/OS)	Algodón hilo	C3_VE-OS_1H_8-AVverdoneS
21	21	1	Blanco (BL)	Algodón tejido	C6_BL_1T_M015
22	22	2	Crudo (CR)	Algodón tejido	C6_CR_1T_I706S
23	23	3	Marrón claro (MA/CL)	Algodón tejido	C6_MA-CL_1T_G348
24	24	4	Marrón oscuro (MA/OS)	Algodón tejido	C6_MA-OS_1T_I40
25	25	5	Amarillo (AM)	Algodón tejido	C6_AM_1T_F705
26	26	6	Naranja (NA)	Algodón tejido	C6_NA_1T_E24
27	27	7	Rosa (RS)	Algodón tejido	C6_RS_1T_B161
28	28	8	Rojo (RJ)	Algodón tejido	C6_RJ_1T_D715
29	29	9	Azul claro (AZ/CL)	Algodón tejido	C6_AZ-CL_1T_P108
30	30	10	Azul oscuro (AZ/OS)	Algodón tejido	C6_AZ-OS_1T_579
31	31	11	Verde claro (VE/CL)	Algodón tejido	C6_VE-CL_1T_L41
32	32	12	Verde oscuro (VE/OS)	Algodón tejido	C6_VE-OS_1T_K114
33	33	13	Gris claro (GR/CL)	Algodón tejido	C6_GR-CL_1T_M123
34	34	14	Gris oscuro (GR/OS)	Algodón tejido	C6_GR-OS_1T_M565
35	35	15	Negro (NE)	Algodón tejido	C6_NE_1T_M885
36	36	16	Lila claro (LI/CL)	Algodón tejido	C6_LI-CL_1T_A134
37	37	17	Lila oscuro (LI/OS)	Algodón tejido	C6_LI-OS_1T_A645
38	38	18	Salmón (SAL)	Algodón tejido	C6_SAL_1T_E14
39	39	19	Pastel (PA)	Algodón tejido	C6_PAS_1T_G90
40	40	20	Fucsia (FUC)	Algodón tejido	C6_FUC_1T_B67
41	1	1	Amarillo (AM)	Poliéster hilo	PL2_AM_1H_93436
42	2	2	Azul oscuro (AZ/OS)	Poliéster hilo	PL2_AZ-OS_1H_93429
43	3	3	Blanco (BL)	Poliéster hilo	PL2_BL_1H_93441
44	4	4	Gris (GR)	Poliéster hilo	PL2_GR_1H_93424
45	5	5	Lila oscuro (LI/OS)	Poliéster hilo	PL2_LI-OS_1H_93433
46	6	6	Marrón claro (MA/CL)	Poliéster hilo	PL2_MA-CL_1H_93435
47	7	7	Naranja (NA)	Poliéster hilo	PL2_NA_1H_93437
48	8	8	Negro (NE)	Poliéster hilo	PL2_NE_1H_93430
49	9	9	Verde claro (VE/CL)	Poliéster hilo	PL2_VE-CL_1H_93440
50	10	10	Vino (VI)	Poliéster hilo	PL2_VI_1H_93427
51	11	1	Amarillo (AM)	Poliéster hilo	PL5_AM_1H_2017
52	12	2	Azul (AZ)	Poliéster hilo	PL5_AZ_1H_2071
53	13	3	Blanco (BL)	Poliéster hilo	PL5_BL_1H_2097
54	14	4	Coral (COR)	Poliéster hilo	PL5_COR_1H_2036
55	15	5	Fucsia (FUC)	Poliéster hilo	PL5_FUC_1H_2071
56	16	6	Naranja (NA)	Poliéster hilo	PL5_NA_1H_2030
57	17	7	Negro (NE)	Poliéster hilo	PL5_NE_1H_2121
58	18	8	Ocre (OCR)	Poliéster hilo	PL5_OCR_1H_2106
59	19	9	Rojo (RJ)	Poliéster hilo	PL5_RJ_1H_2032
60	20	10	Verde(VE)	Poliéster hilo	PL5_VE_1H_2089
61	21	1	SN (Sin nombre	Poliéster tejido	PL8_1T_18A
62	22	2	SN (Sin nombre	Poliéster tejido	PL8_1T_18B
63	23	3	SN (Sin nombre	Poliéster tejido	PL8_1T_18C
64	24	4	SN (Sin nombre	Poliéster tejido	PL8_1T_18D
65	25	5	SN (Sin nombre	Poliéster tejido	PL8_1T_19E
66	26	6	SN (Sin nombre	Poliéster tejido	PL8_1T_19F
67	27	7	SN (Sin nombre	Poliéster tejido	PL8_1T_19G
68	28	8	SN (Sin nombre	Poliéster tejido	PL8_1T_19H
69	29	9	SN (Sin nombre	Poliéster tejido	PL8_1T_20I
70	30	10	SN (Sin nombre	Poliéster tejido	PL8_1T_20J
71	31	11	SN (Sin nombre	Poliéster tejido	PL8_1T_20K
72	32	12	SN (Sin nombre	Poliéster tejido	PL8_1T_20L
73	33	13	SN (Sin nombre	Poliéster tejido	PL8_1T_21N
74	34	14	SN (Sin nombre	Poliéster tejido	PL8_1T_21O
75	35	15	SN (Sin nombre	Poliéster tejido	PL8_1T_21P
76	36	17	SN (Sin nombre	Poliéster tejido	PL8_1T_23R



**Apdo. A II.II Subestudio 1. Gráficas PCA del algodón: análisis de hilos y tejidos.**

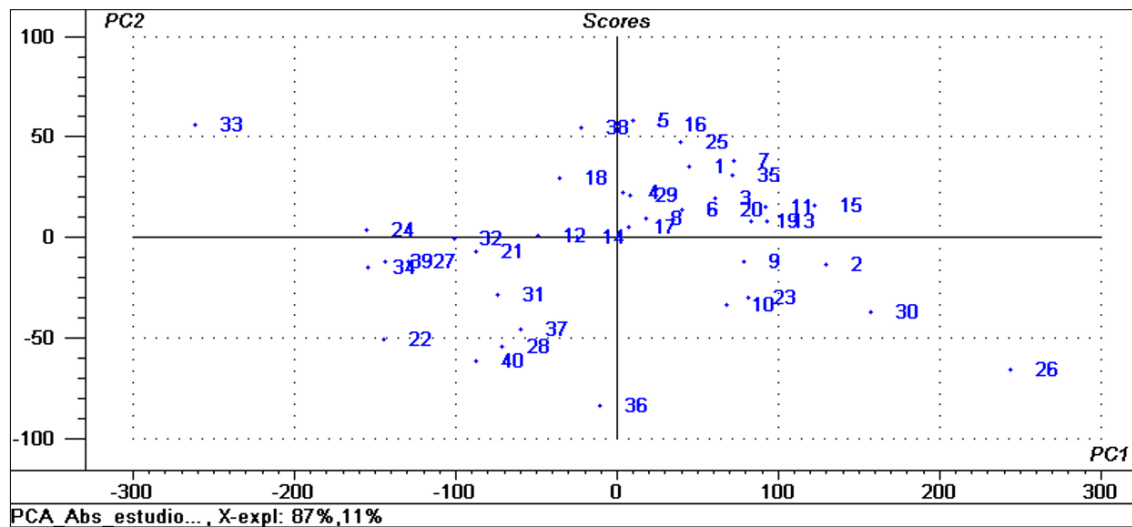


Gráfico 15. PCA en modo absorbancia fibras de algodón de hilo y tejido

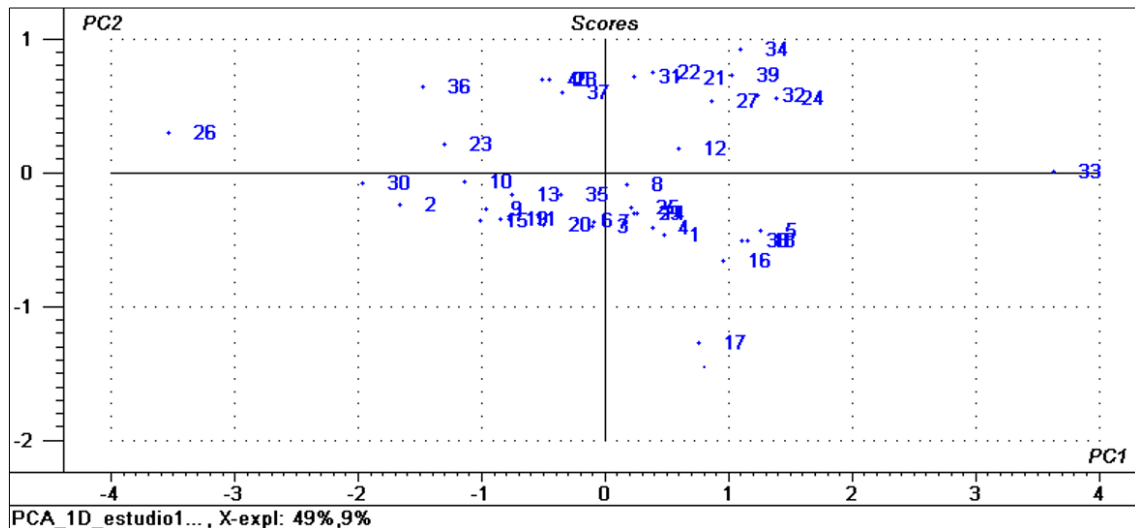


Gráfico 16. PCA en modo de 1ª derivada fibras de algodón de hilo y tejido

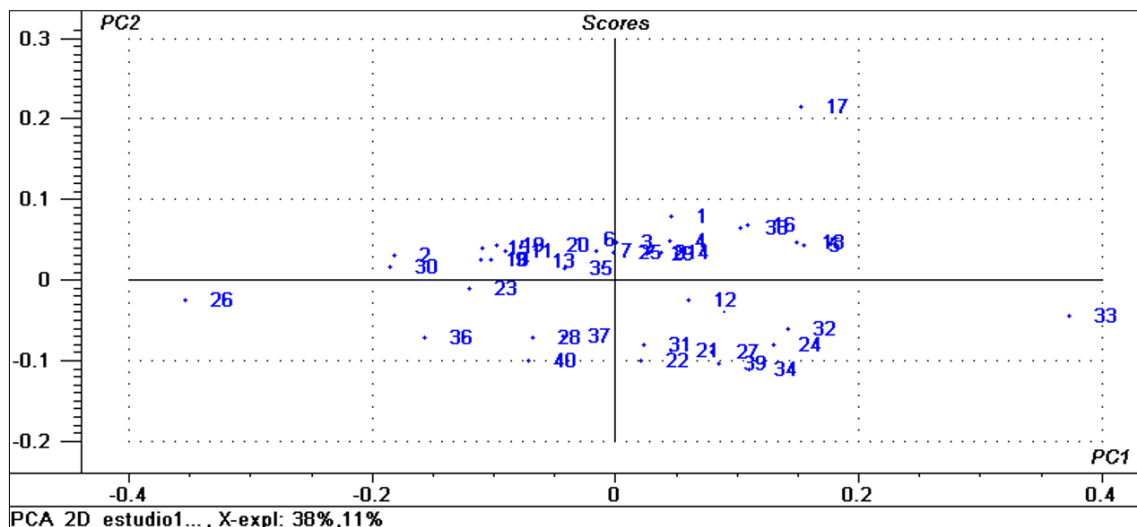


Gráfico 17. PCA en modo de 2ª derivada fibras de algodón de hilo y tejido

**Apdo. A II.I Subestudio 1. Gráficas PCA del poliéster: análisis de hilos y tejidos**

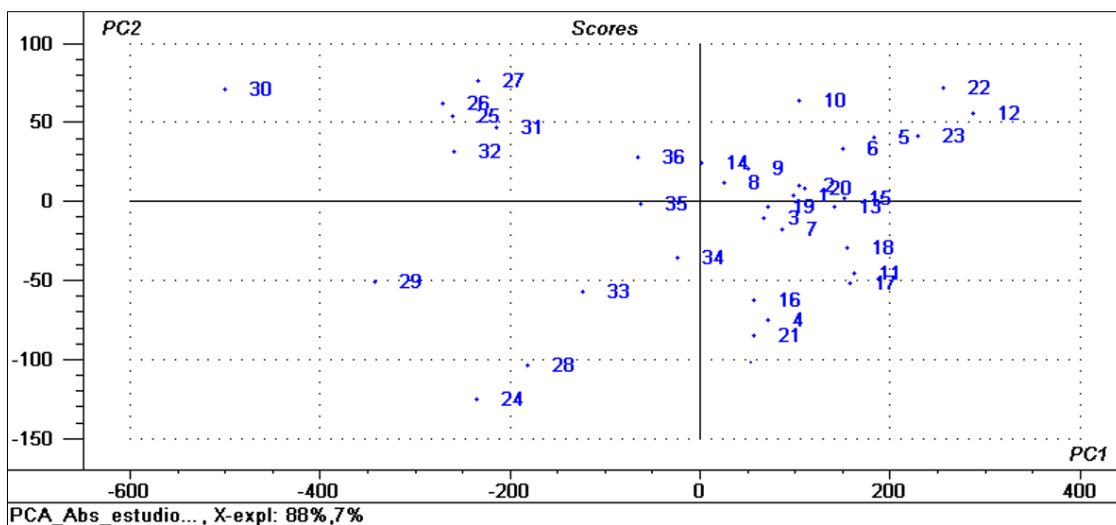


Gráfico 18. PCA en modo de absorbanza de fibras de poliéster de hilo y tejido

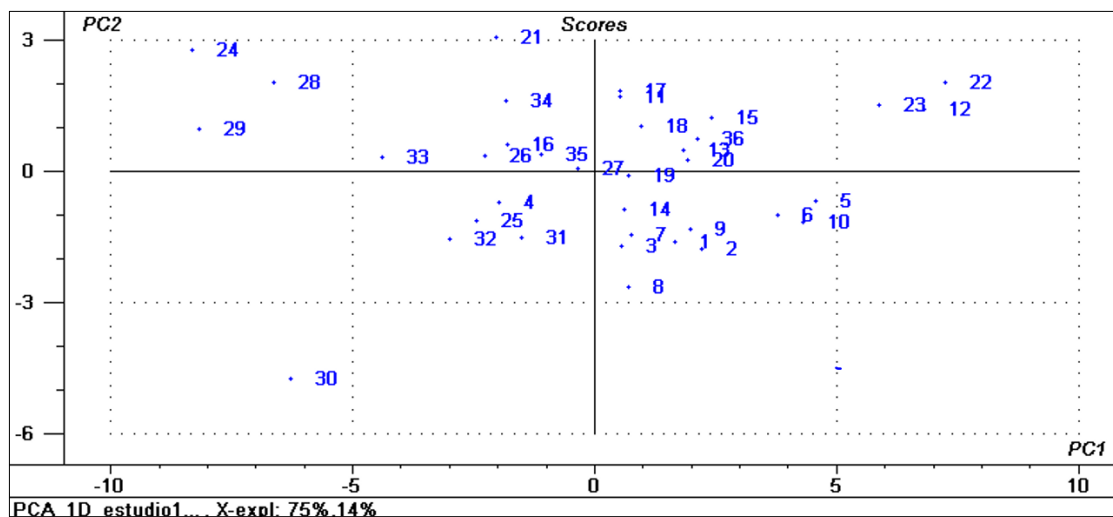


Gráfico 19. PCA en modo de 1ª derivada fibras de poliéster de hilo y tejido

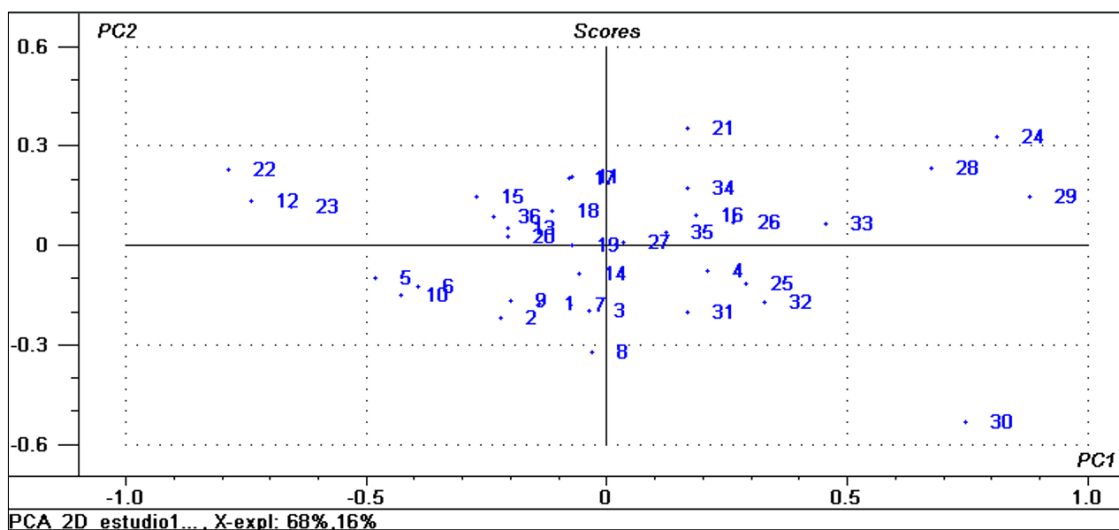


Gráfico 20. PCA en modo de 2ª derivada fibras de poliéster de hilo y tejido

Apdo. A II.II      Estudio 1. Gráficas de PCA modo primera derivada

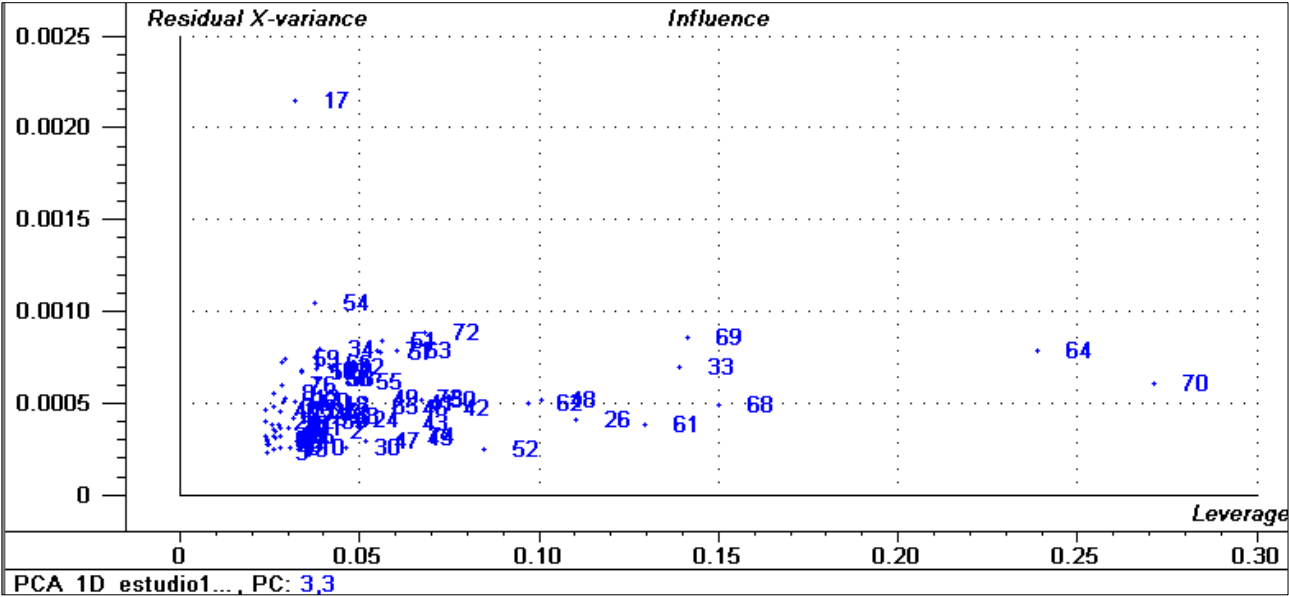


Gráfico 21 Residual vs leverage para el estudio 3 primera derivada

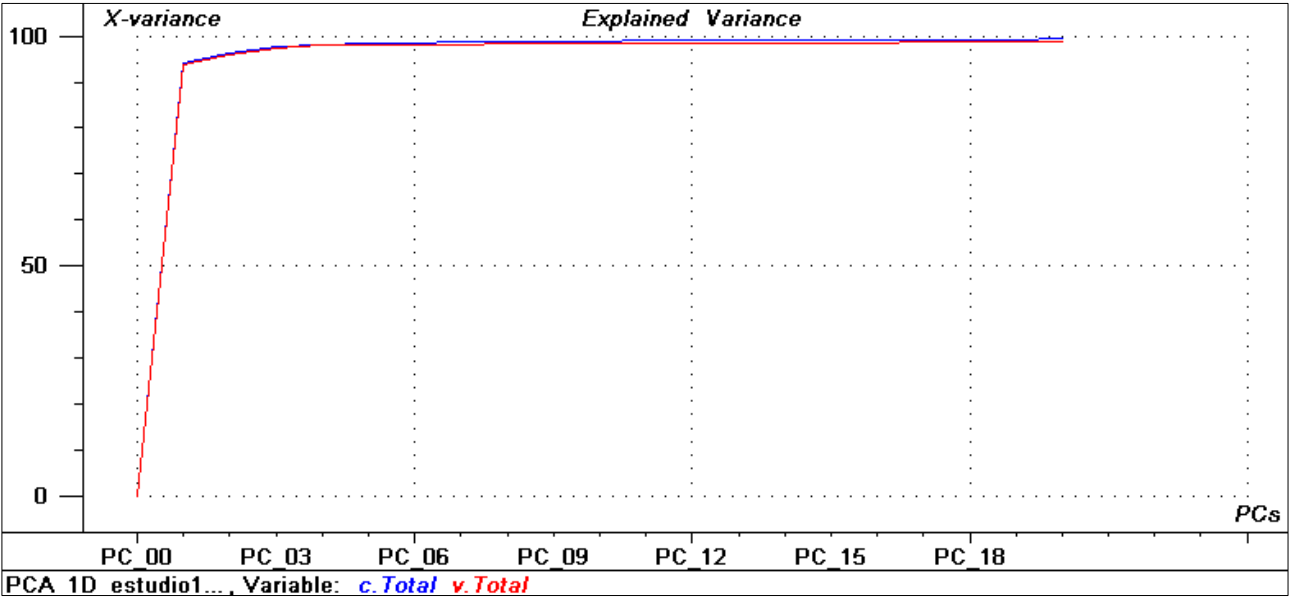


Gráfico 22 Varianza explicada para el estudio 1 (modo primera derivada)

Apdo. A II.III      Estudio 1. Gráficas de PCA modo segunda derivada

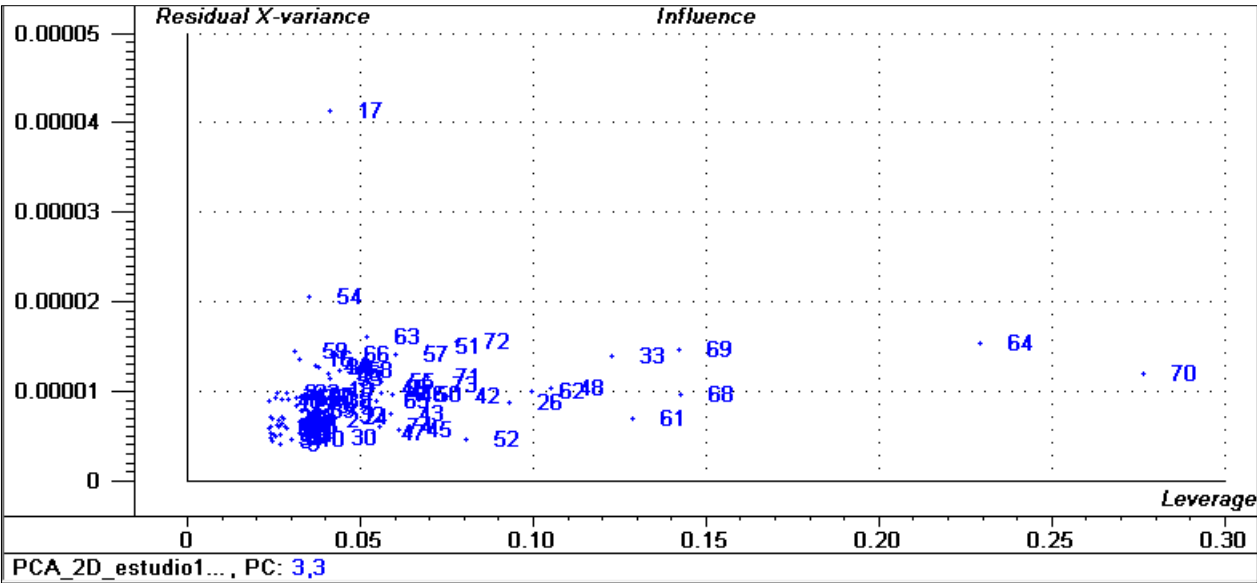


Gráfico 23 Residual vs leverage para el estudio1 (modo segunda derivada)

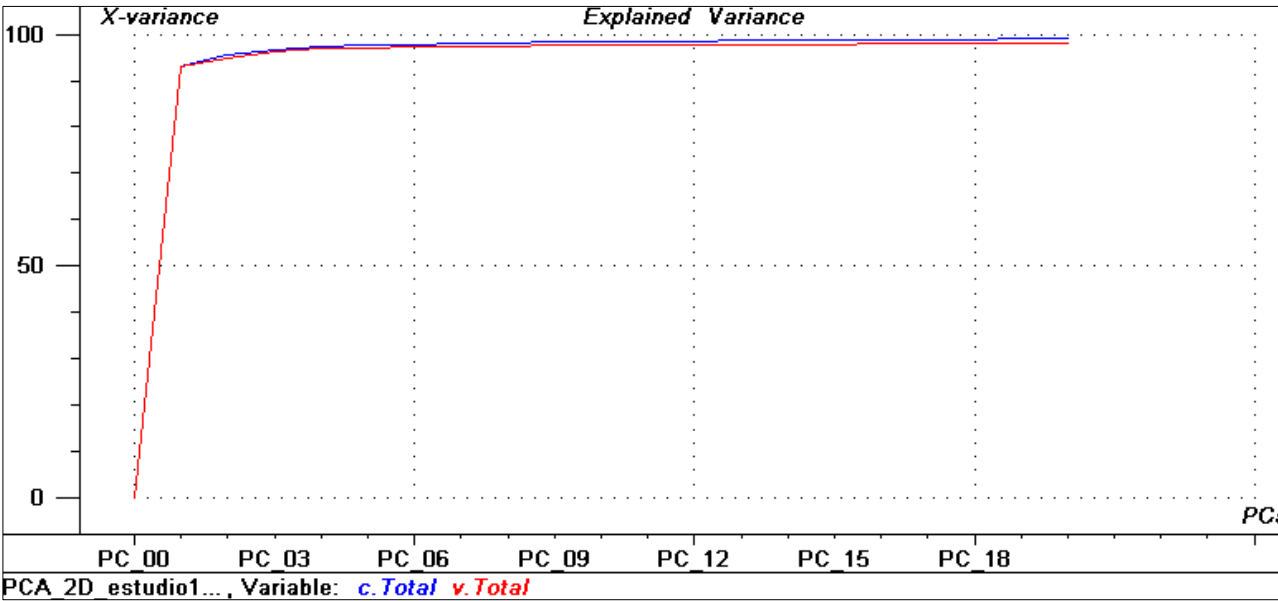


Gráfico 24 Varianza explicada para el estudio 2 (modo segunda derivada)

## Anexo III. Estudio 2. Fibras sintéticas: poliéster, poliamida y viscosa.

### SUBESTUDIO 2: ANÁLISIS COMPORATIVO ENTRE EL NYLON Y LA POLIAMIDA

#### Apdo. A III.I Registro de muestras de nylon y poliamida

SUBESTUDIO 2 - Fibras sintéticas: Análisis comparativo entre el nylon y poliamida				
Número total de muestras	Número de muestras por grupo	Colores	Tipo de muestra	CÓDIGO MUESTRA
1	1	Azul	Nylon hilo	PL2_AZ_2H_91140
2	2	Lila claro (LI-CL)	Nylon hilo	PL2_LI-CL_2H_91143
3	3	Lila oscuro (LI-OS)	Nylon hilo	PL2_LI-OS_2H_91147
4	4	Marrón oscuro (MA-OS)	Nylon hilo	PL2_MA-OS_2H_91139
5	5	Naranja	Nylon hilo	PL2_NA_2H_91149
6	6	Rojo (RJ)	Nylon hilo	PL2_RJ_2H_91151
7	7	Rosa (RS)	Nylon hilo	PL2_RS_2H_91153
8	8	Verde (VE)	Nylon hilo	PL2_VE_2H_91134
9	9	SN (nombre)	Nylon hilo	PL2_AG_2H_91144
10	10	Amarillo (AM)	Nylon hilo	PL2_AM_2H_91133
11	11	Blanco (BL)	Nylon hilo	PL2_BL_2H_2801
12	12	Crudo (CR)	Nylon hilo	PL2_CR_2H_91142
13	13	Gris (GR)	Nylon hilo	PL2_GR_2H_91136
14	14	Marrón claro (MA-CL)	Nylon hilo	PL2_MA-CL_2H_91138
15	15	Negro	Nylon hilo	PL2_NE_2H_2833
16	16	Salmón (SAL)	Nylon hilo	PL2_SAL_2H_91132
17	17	Sin nombre (SN)	Nylon hilo	PL2_SN_2H_91131
18	18	Sin nombre (SN)	Nylon hilo	PL2_SN_2H_91137
19	19	Sin nombre (SN)	Nylon hilo	PL2_SN_2H_91145
20	20	Sin nombre (SN)	Nylon hilo	PL2_SN_2H_91146
21	21	Sin nombre (SN)	Nylon hilo	PL2_SN_2H_91148
22	22	Sin nombre (SN)	Nylon hilo	PL2_SN_2H_91150
23	23	Sin nombre (SN)	Nylon hilo	PL2_SN_2H_91152
24	24	Sin nombre (SN)	Nylon hilo	PL2_SN_2H_91135
25	1	Azul (AZ)	Poliamida hilo	PA1_AZ3_2H_23306
26	2	Azul (AZ)	Poliamida hilo	PA1_AZ4_2H_30413
27	3	Azul (AZ)	Poliamida hilo	PA1_AZ5_2H_28213
28	4	Az-Clul (AZ-CL)	Poliamida hilo	PA1_AZ-CL_2H_29609
29	5	Az-OSul (AZ-OS)	Poliamida hilo	PA1_AZ-OS_2H_2022
30	6	Blul (BL)	Poliamida hilo	PA1_BL_2H_10001
31	7	Crul (CR)	Poliamida hilo	PA1_CR_2H_24955
32	8	Gris 3 (GR)	Poliamida hilo	PA1_GR3_2H_20672
33	9	Gris claro (GR-CL)	Poliamida hilo	PA1_GR-CL_2H_20671
34	10	Gris oscuro (GR-OS)	Poliamida hilo	PA1_GR-OS_2H_30233
35	11	Lila (LI)	Poliamida hilo	PA1_LI_2H_28988
36	12	Marrón claro (MA-CL)	Poliamida hilo	PA1_MA-CL_2H_24959
37	13	Marrón oscuro (MA-OS)	Poliamida hilo	PA1_MA-OS_2H_26619
38	14	Naranja (NA)	Poliamida hilo	PA1_NA_2H_24486
39	15	Negro (NE)	Poliamida hilo	PA1_NE_2H_10115
40	16	Pastel (PAS)	Poliamida hilo	PA1_PAS_2H_28129
41	17	Rojo (RJ)	Poliamida hilo	PA1_RJ_2H_2020
42	18	Rosa (RS)	Poliamida hilo	PA1_RS_2H_31387
43	19	Sin nombre (SN)	Poliamida hilo	PA1_SN_2H_23283
44	20	Sin nombre (SN)	Poliamida hilo	PA1_SN_2H_23292
45	21	Sin nombre (SN)	Poliamida hilo	PA1_SN_2H_28221
46	22	Sin nombre (SN)	Poliamida hilo	PA1_SN_2H_30230
47	23	Sin nombre (SN)	Poliamida hilo	PA1_SN_2H_30231
48	24	Sin nombre (SN)	Poliamida hilo	PA1_SN_2H_31435
49	25	Verde 3 (VE)	Poliamida hilo	PA1_VE3_2H_30446
50	26	Verde 4 (VE)	Poliamida hilo	PA1_VE4_2H_29969
51	27	Verde 5 (VE)	Poliamida hilo	PA1_VE5_2H_30438
52	28	Verde 6 (VE)	Poliamida hilo	PA1_VE6_2H_26545
53	29	Verde claro (VE-CL)	Poliamida hilo	PA1_VE-CL_2H_31388
54	30	Verde oscuro (VE-OS)	Poliamida hilo	PA1_VE-OS_2H_2424
55	1	Gris (GR)	Poliamida tejido	PA1_GR_2T_1-15000
56	2	Marrón (MA)	Poliamida tejido	PA1_MA_2T_1-18000
57	3	Azul (AZ)	Poliamida tejido	PA2_AZ_2T_NM112000
58	4	Lila	Poliamida tejido	PA2_LI_2T_Nm1-5000U
59	5	Lila	Poliamida tejido	PA2_LI_2T_Nm1-10000
60	6	Lila	Poliamida tejido	PA2_LI_2T_Nm6500
61	7	Negro	Poliamida tejido	PA4_NE_2T_Nm19

Apdo. A II.IV      Subestudio 2. Gráficas de PCA modo absorbancia

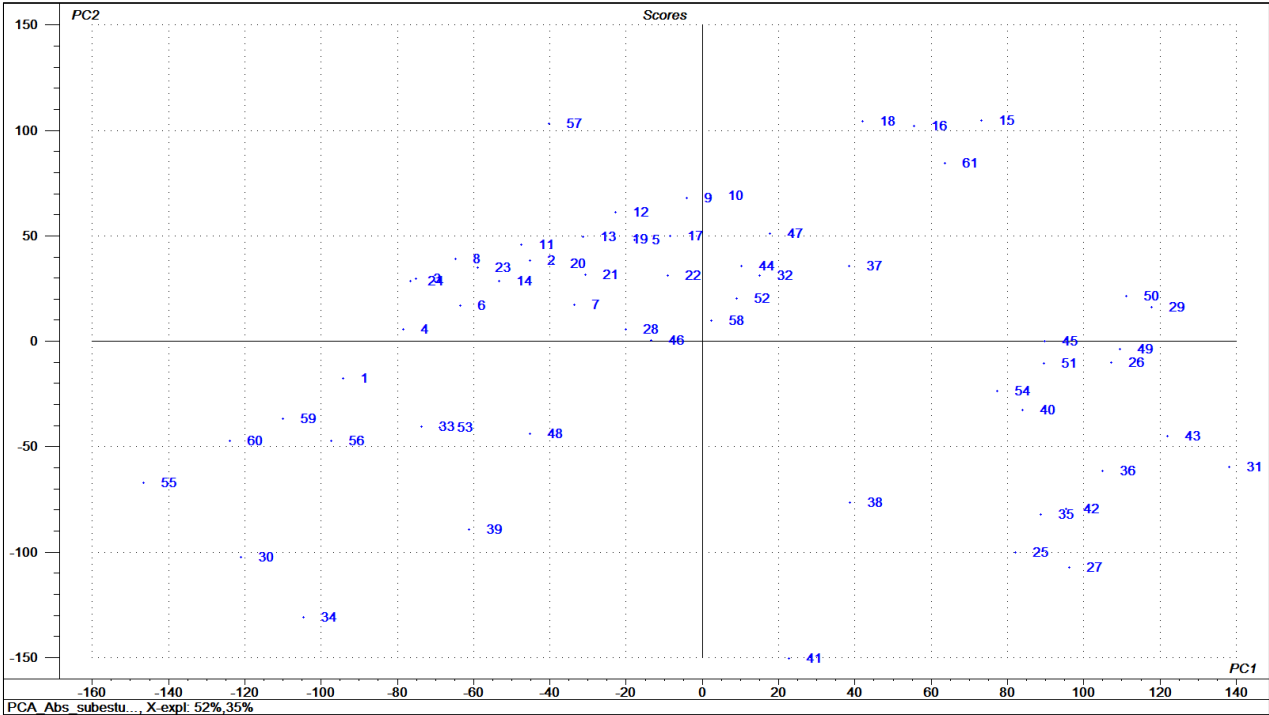


Gráfico 25. Scores para el subestudio 2 (modo absorbancia)

Apdo. A III.II      Subestudio 2. Gráficas de PCA modo segunda derivada

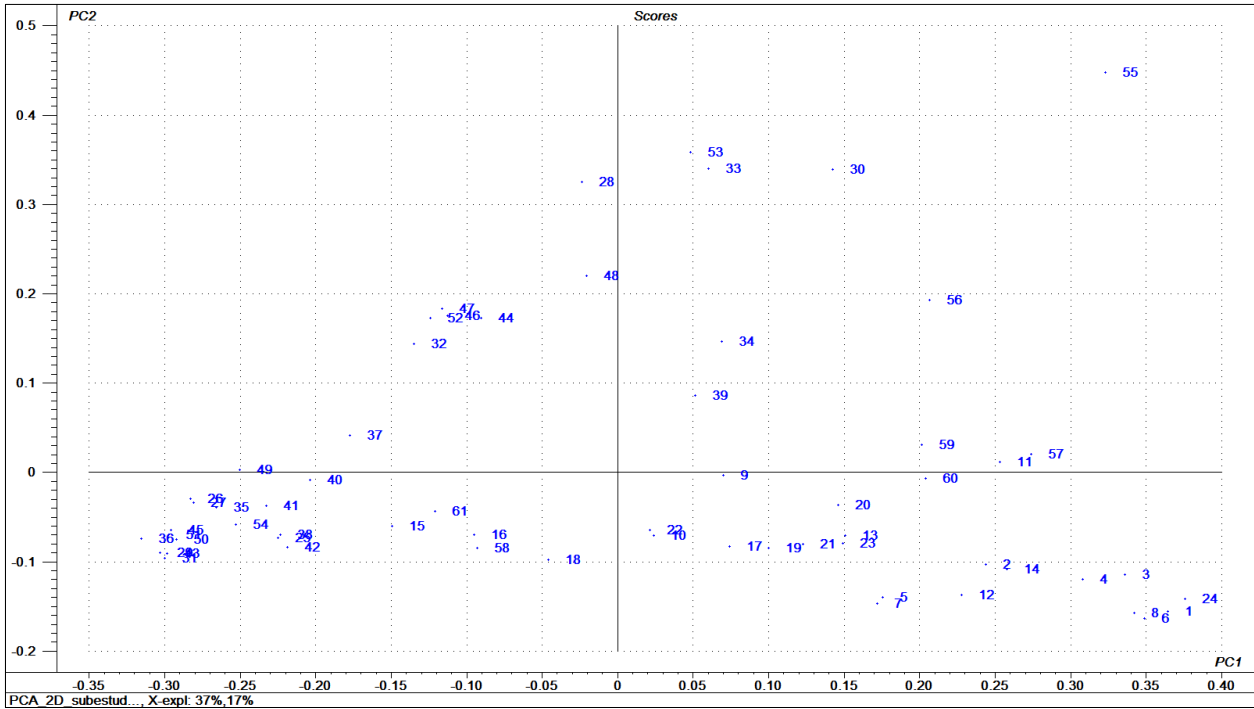


Gráfico 26. Scores para el subestudio 2 (modo segunda derivada)

**Apdo. A III.III Registro de 150 muestras de poliamida, poliéster y viscosa**

<b>EXPERIMENTO 2 - FIBRAS SINTÉTICAS</b>					
<b>Número total de muestras</b>	<b>Número de muestras por grupos</b>	<b>Número muestras por catálogo</b>	<b>Colores</b>	<b>Tipo de muestra</b>	<b>Código por m</b>
1	1	1	Azul	Nailon hilo	PL2_AZ_2H_91140
2	2	2	Lila claro (LI-CL)	Nailon hilo	PL2_LI-CL_2H_91143
3	3	3	Lila oscuro (LI-OS)	Nailon hilo	PL2_LI-OS_2H_91147
4	4	4	Marrón oscuro (MA-OS)	Nailon hilo	PL2_MA-OS_2H_91139
5	5	5	Naranja	Nailon hilo	PL2_NA_2H_91149
6	6	6	Rojo (RJ)	Nailon hilo	PL2_RJ_2H_91151
7	7	7	Rosa (RS)	Nailon hilo	PL2_RS_2H_91153
8	8	8	Verde (VE)	Nailon hilo	PL2_VE_2H_91134
9	9	9	Sin nombre (SN)	Nailon hilo	PL2_AG_2H_91144
10	10	10	Amarillo (AM)	Nailon hilo	PL2_AM_2H_91133
11	11	11	Blanco (BL)	Nailon hilo	PL2_BL_2H_2801
12	12	12	Crudo (CR)	Nailon hilo	PL2_CR_2H_91142
13	13	13	Gris (GR)	Nailon hilo	PL2_GR_2H_91136
14	14	14	Marrón claro (MA-CL)	Nailon hilo	PL2_MA-CL_2H_91138
15	15	15	Negro	Nailon hilo	PL2_NE_2H_2833
16	16	16	Salmón (SAL)	Nailon hilo	PL2_SAL_2H_91132
17	17	17	Sin nombre (SN)	Nailon hilo	PL2_SN_2H_91131
18	18	18	Sin nombre (SN)	Nailon hilo	PL2_SN_2H_91137
19	19	19	Sin nombre (SN)	Nailon hilo	PL2_SN_2H_91145
20	20	20	Sin nombre (SN)	Nailon hilo	PL2_SN_2H_91146
21	21	21	Sin nombre (SN)	Nailon hilo	PL2_SN_2H_91148
22	22	22	Sin nombre (SN)	Nailon hilo	PL2_SN_2H_91150
23	23	23	Sin nombre (SN)	Nailon hilo	PL2_SN_2H_91152
24	24	24	Sin nombre (SN)	Nailon hilo	PL2_SN_2H_91135
25	25	1	Azul (AZ)	Poliamida hilo	PA1_AZ3_2H_23306
26	26	2	Azul (AZ)	Poliamida hilo	PA1_AZ4_2H_30413
27	27	3	Azul (AZ)	Poliamida hilo	PA1_AZ5_2H_28213
28	28	4	Az-Clul (AZ-CL)	Poliamida hilo	PA1_AZ-CL_2H_29609
29	29	5	Az-OSul (AZ-OS)	Poliamida hilo	PA1_AZ-OS_2H_2022
30	30	6	Blul (BL)	Poliamida hilo	PA1_BL_2H_10001
31	31	7	Crul (CR)	Poliamida hilo	PA1_CR_2H_24955
32	32	8	Gris 3 (GR)	Poliamida hilo	PA1_GR3_2H_20672
33	33	9	Gris claro (GR-CL)	Poliamida hilo	PA1_GR-CL_2H_20671
34	34	10	Gris oscuro (GR-OS)	Poliamida hilo	PA1_GR-OS_2H_30233
35	35	11	Lila (LI)	Poliamida hilo	PA1_LI_2H_28988
36	36	12	Marrón claro (MA-CL)	Poliamida hilo	PA1_MA-CL_2H_24959
37	37	13	Marrón oscuro (MA-OS)	Poliamida hilo	PA1_MA-OS_2H_26619
38	38	14	Naranja (NA)	Poliamida hilo	PA1_NA_2H_24486
39	39	15	Negro (NE)	Poliamida hilo	PA1_NE_2H_10115
40	40	16	Pastel (PAS)	Poliamida hilo	PA1_PAS_2H_28129
41	41	17	Rojo (RJ)	Poliamida hilo	PA1_RJ_2H_2020
42	42	18	Rosa (RS)	Poliamida hilo	PA1_RS_2H_31387
43	43	19	Sin nombre (SN)	Poliamida hilo	PA1_SN_2H_23283
44	44	1	Gris (GR)	Poliamida tejido	PA1_GR_2T_1-15000
45	45	2	Marrón (MA)	Poliamida tejido	PA1_MA_2T_1-18000
46	46	3	Azul (AZ)	Poliamida tejido	PA2_AZ_2T_Nm112000
47	47	4	Lila	Poliamida tejido	PA2_LI_2T_Nm1-5000U
48	48	5	Lila	Poliamida tejido	PA2_LI_2T_Nm1-10000
49	49	6	Lila	Poliamida tejido	PA2_LI_2T_Nm6500
50	50	7	Negro	Poliamida tejido	PA4_NE_2T_Nm19

51	1	1	Amarillo (AM)	Poliéster hilo	PL2_AM_1H_93436
52	2	2	Azul oscuro (AZ/OS)	Poliéster hilo	PL2_AZ-OS_1H_93429
53	3	3	Blanco (BL)	Poliéster hilo	PL2_BL_1H_93441
54	4	4	Gris (GR)	Poliéster hilo	PL2_GR_1H_93424
55	5	5	Lila oscuro (LI/OS)	Poliéster hilo	PL2_LI-OS_1H_93433
56	6	6	Marrón claro (MA/CL)	Poliéster hilo	PL2_MA-CL_1H_93435
57	7	7	Naranja (NA)	Poliéster hilo	PL2_NA_1H_93437
58	8	8	Negro (NE)	Poliéster hilo	PL2_NE_1H_93430
59	9	9	Verde claro (VE/CL)	Poliéster hilo	PL2_VE-CL_1H_93440
60	10	10	Vino (VI)	Poliéster hilo	PL2_VI_1H_93427
61	11	11	Amarillo (AM)	Poliéster hilo	PL5_AM_1H_2017
62	12	12	Azul (AZ)	Poliéster hilo	PL5_AZ_1H_2071
63	13	13	Blanco (BL)	Poliéster hilo	PL5_BL_1H_2097
64	14	14	Coral (COR)	Poliéster hilo	PL5_COR_1H_2036
65	15	15	Fucsia (FUC)	Poliéster hilo	PL5_FUC_1H_2071
66	16	16	Naranja (NA)	Poliéster hilo	PL5_NA_1H_2030
67	17	17	Negro (NE)	Poliéster hilo	PL5_NE_1H_2121
68	18	18	Ocre (OCR)	Poliéster hilo	PL5_OCR_1H_2106
69	19	19	Rojo (RJ)	Poliéster hilo	PL5_RJ_1H_2032
70	20	20	Verde(VE)	Poliéster hilo	PL5_VE_1H_2089
71	21	21	Azul claro (AZ-CL)	Poliéster hilo	PL2_AZ-CL_2H_93438
72	22	22	Cobre (CO)	Poliéster hilo	PL2_COB_2H_93423
73	23	23	Denim (DE)	Poliéster hilo	PL2_DE_2H_93428
74	24	24	Dorado (DO)	Poliéster hilo	PL2_DO_2H_93425
75	25	25	Lila claro (LI-CL)	Poliéster hilo	PL2_LI-CL_2H_93432
76	26	26	Marrón oscuro (MA-OS)	Poliéster hilo	PL2_MA-OS_2H_93435
77	27	27	Metalizado 1 (MET1)	Poliéster hilo	PL2_MET1_2H_93421
78	28	28	Metalizado 2 (MET2)	Poliéster hilo	PL2_MET2_2H_93422
79	29	29	Oliva (OL)	Poliéster hilo	PL2_OL_2H_93426
80	30	30	Verde oscuro (VE-OS)	Poliéster hilo	PL2_VE-OS_2H_93431
81	31	31	Azul claro (AZ-CL)	Poliéster hilo	PL5_AZ-CL_2H_2063
82	32	32	Marrón claro (MA-CL)	Poliéster hilo	PL5_MA-CL_2H_2005
83	33	33	Rosa (RS)	Poliéster hilo	PL5_RS_2H_2034
84	34	34	Verde claro (VE-CL)	Poliéster hilo	PL5_VE-CL_2H_2081
85	35	1	Sin nombre (SN)	Poliéster tejido	PL8_1T_18A
86	36	2	Sin nombre (SN)	Poliéster tejido	PL8_1T_18B
87	37	3	Sin nombre (SN)	Poliéster tejido	PL8_1T_18C
88	38	4	Sin nombre (SN)	Poliéster tejido	PL8_1T_18D
89	39	5	Sin nombre (SN)	Poliéster tejido	PL8_1T_19E
90	40	6	Sin nombre (SN)	Poliéster tejido	PL8_1T_19F
91	41	7	Sin nombre (SN)	Poliéster tejido	PL8_1T_19G
92	42	8	Sin nombre (SN)	Poliéster tejido	PL8_1T_19H
93	43	9	Sin nombre (SN)	Poliéster tejido	PL8_1T_20I
94	44	10	Sin nombre (SN)	Poliéster tejido	PL8_1T_20J
95	45	11	Sin nombre (SN)	Poliéster tejido	PL8_1T_20K
96	46	12	Sin nombre (SN)	Poliéster tejido	PL8_1T_20L
97	47	13	Sin nombre (SN)	Poliéster tejido	PL8_1T_21N
98	48	14	Sin nombre (SN)	Poliéster tejido	PL8_1T_21O
99	49	15	Sin nombre (SN)	Poliéster tejido	PL8_1T_21P
100	50	16	Sin nombre (SN)	Poliéster tejido	PL8_1T_23R
101	1	1	Amarillo (AM)	Viscosa hilo	V1_AM_2H_8037
102	2	2	Azul (AZ)	Viscosa hilo	V1_AZ_2H_7468
103	3	3	Azul oscuro (AZ/OS)	Viscosa hilo	V1_AZ-OS_2H_5960
104	4	4	Beig (BG)	Viscosa hilo	V1_BG_2H_7031
105	5	5	Blanco (BL)	Viscosa hilo	V1_BL_2H_0100
106	6	6	Sin nombre (SN)	Viscosa hilo	V1_BR_2H_7873
107	7	7	Sin nombre (SN)	Viscosa hilo	V1_BUR_2H_7268
108	8	8	Sin nombre (SN)	Viscosa hilo	V1_CA_2H_7840
109	9	9	Camel (CAM)	Viscosa hilo	V1_CAM_2H_7841
110	10	10	Sin nombre (SN)	Viscosa hilo	V1_CAR_2H_7626
111	11	11	Celeste (CEL)	Viscosa hilo	V1_CEL_2H_7190
112	12	12	Cloud (CLD)	Viscosa hilo	V1_CLD_2H_7883
113	13	13	Coffee (COF)	Viscosa hilo	V1_COF_2H_7483
114	14	14	Sin nombre (SN)	Viscosa hilo	V1_FR_2H_7838
115	15	15	Fucsia (FUC)	Viscosa hilo	V1_FUC_2H_7186
116	16	16	Sin nombre (SN)	Viscosa hilo	V1_GL_2H_7541
117	17	17	Gris (GR)	Viscosa hilo	V1_GR_2H_7628
118	18	18	Ivory (IV)	Viscosa hilo	V1_IV_2H_7888
119	19	19	Jeans (JE)	Viscosa hilo	V1_JE_2H_7665
120	20	20	Khaki (KH)	Viscosa hilo	V1_KH_2H_0266
121	21	21	Sin nombre (SN)	Viscosa hilo	V1_LG_2H_7885
122	22	22	Lila (LI)	Viscosa hilo	V1_LI_2H_7666
123	23	23	Lila claro (LI-CL)	Viscosa hilo	V1_LI-CL_2H_7882
124	24	24	Limón (LIM)	Viscosa hilo	V1_LIM_2H_7183
125	25	25	Lila oscuro (LI-OS)	Viscosa hilo	V1_LI-OS_2H_7541
126	26	26	Marrón claro (MA/CL)	Viscosa hilo	V1_MA-CL_2H_7866
127	27	27	Marrón oscuro (MA-OS)	Viscosa hilo	V1_MA-OS_2H_7030
128	28	28	Marro	Viscosa hilo	V1_MAR_2H_7898
129	29	29	Mostaza (MZ)	Viscosa hilo	V1_MZ_2H_7868
130	30	30	Naranja (NA)	Viscosa hilo	V1_NA_2H_7185
131	31	31	Negro (NE)	Viscosa hilo	V1_NE_2H_0350
132	32	32	Opalo (OPA)	Viscosa hilo	V1_OPA_2H_7884
133	33	33	Oro (OR)	Viscosa hilo	V1_OR_2H_7266
134	34	34	Rojo (RJ)	Viscosa hilo	V1_RJ_2H_7482
135	35	35	Sin nombre (SN)	Viscosa hilo	V1_ROU_2H_7839
136	36	36	Rosa (RS)	Viscosa hilo	V1_RS_2H_7881
137	37	37	Sin nombre (SN)	Viscosa hilo	V1_RSP_2H_7184
138	38	38	Sin nombre (SN)	Viscosa hilo	V1_RY_2H_7270
139	39	39	Turquesa (TUR)	Viscosa hilo	V1_TUR_2H_7187
140	40	40	Vainilla (VAI)	Viscosa hilo	V1_VAI_2H_7888
141	41	41	Verde claro (VE-CL)	Viscosa hilo	V1_VE-CL_2H_7189
142	42	42	Verde oscuro (VE-OS)	Viscosa hilo	V1_VE-OS_2H_7887
143	43	43	Sin nombre (SN)	Viscosa hilo	V1_VIG_2H_7837
144	44	44	Sin nombre (SN)	Viscosa hilo	V1_VTO_2H_7866
145	45	1	Sin nombre (SN)	Viscosa tejido	PAS_2T_NM2-45000
146	46	2	Sin nombre (SN)	Viscosa tejido	V7_2T_17A
147	47	3	Sin nombre (SN)	Viscosa tejido	V7_2T_17B
148	48	4	Sin nombre (SN)	Viscosa tejido	V7_2T_17C
149	49	5	Sin nombre (SN)	Viscosa tejido	V7_2T_17D
150	50	6	Sin nombre (SN)	Viscosa tejido	V7_2T_17E



Apdo. A III.IV Estudio 2. Gráficas de PCA en modo absorbancia

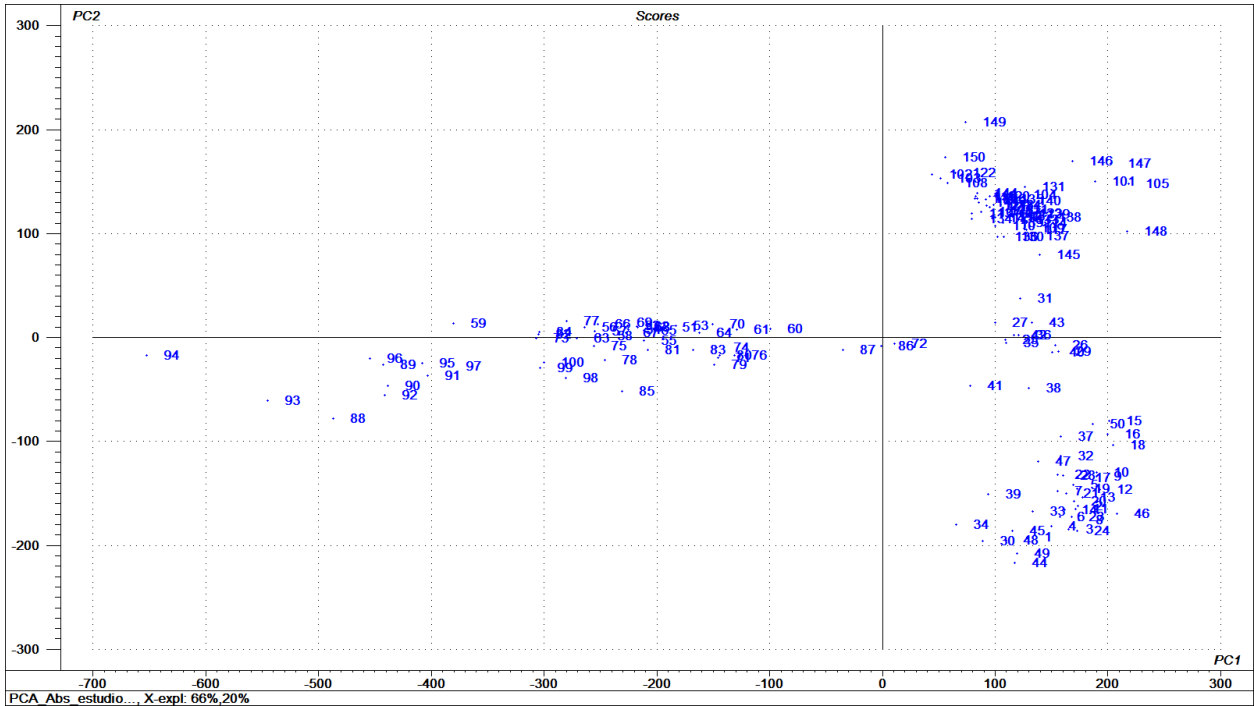


Gráfico 27. Scores para el estudio 2 (modo absorbancia)

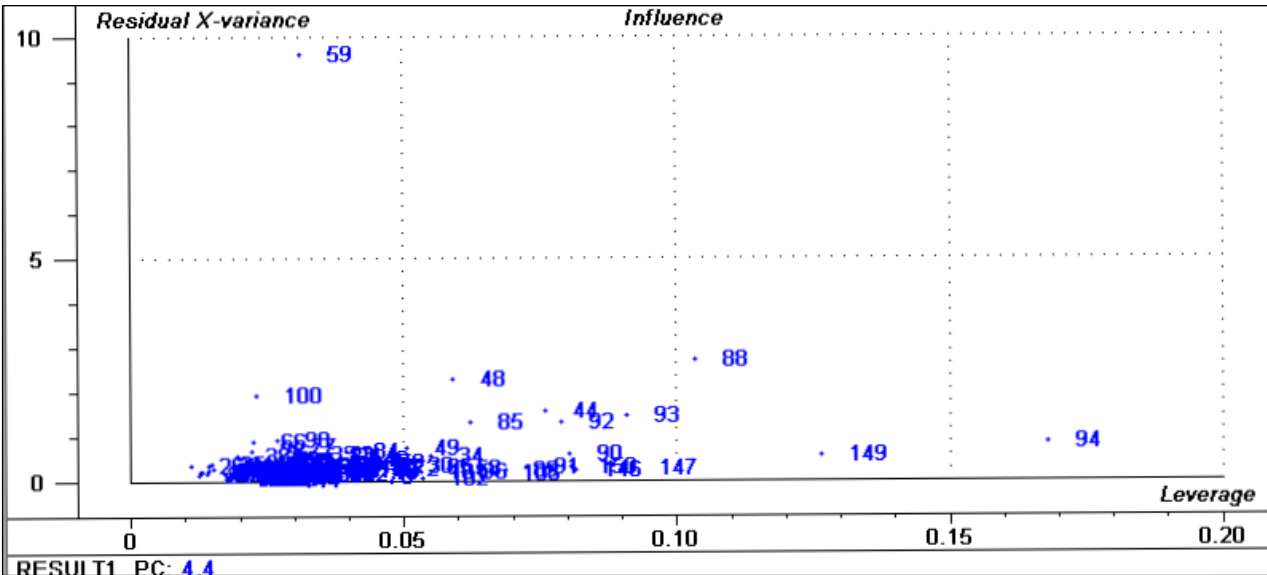


Gráfico 28 Residual vs leverage para el estudio 2 (modo absorbancia)

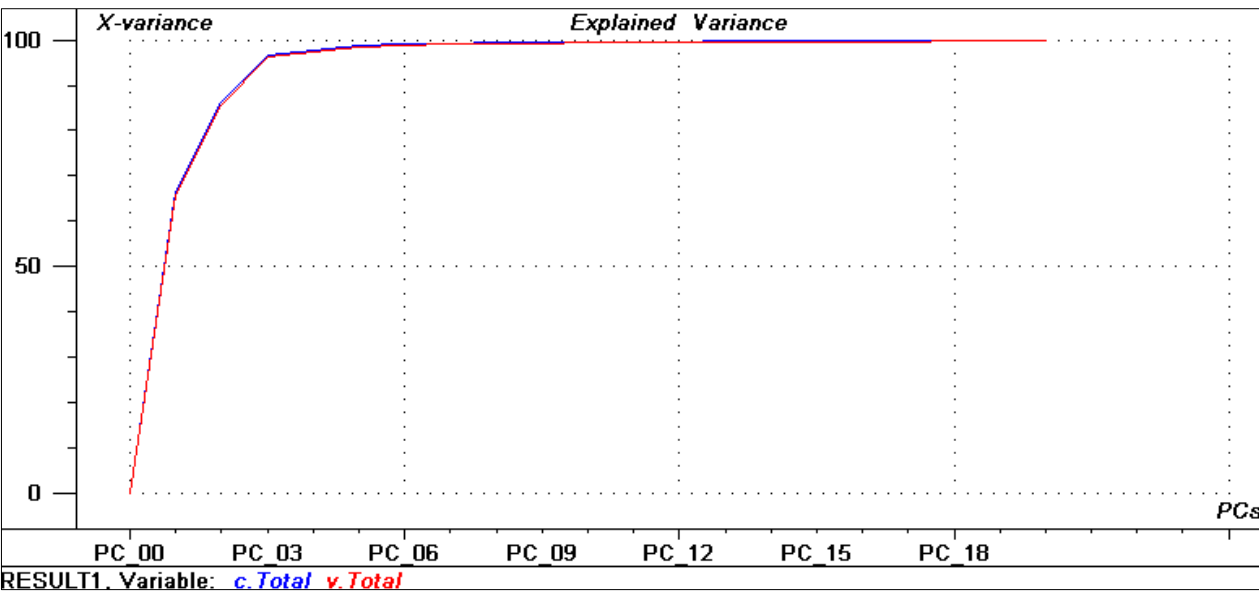


Gráfico 29 Varianza explicada para estudio 2 (modo absorbancia)

Apdo. A III.V Estudio 2. Gráficas de PCA en modo segunda derivada

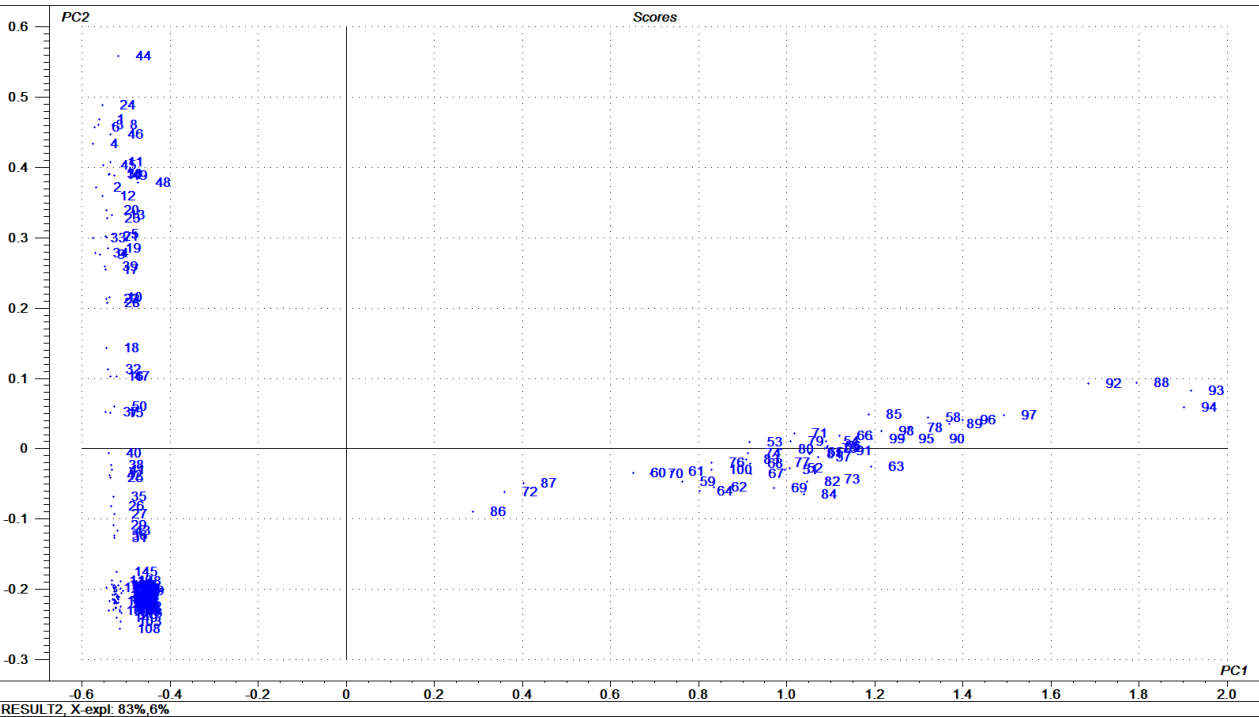


Gráfico 30. Scores para el estudio 2 (modo segunda derivada)

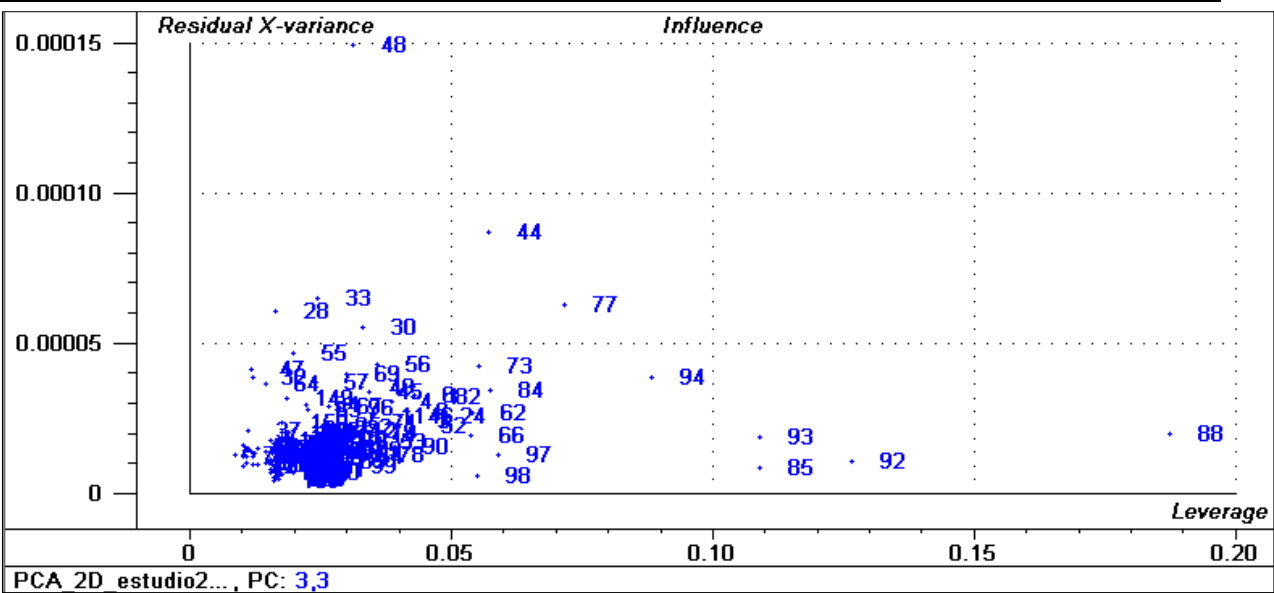


Gráfico 31 Residual vs leverage para el estudio 2 (modo segunda derivada)

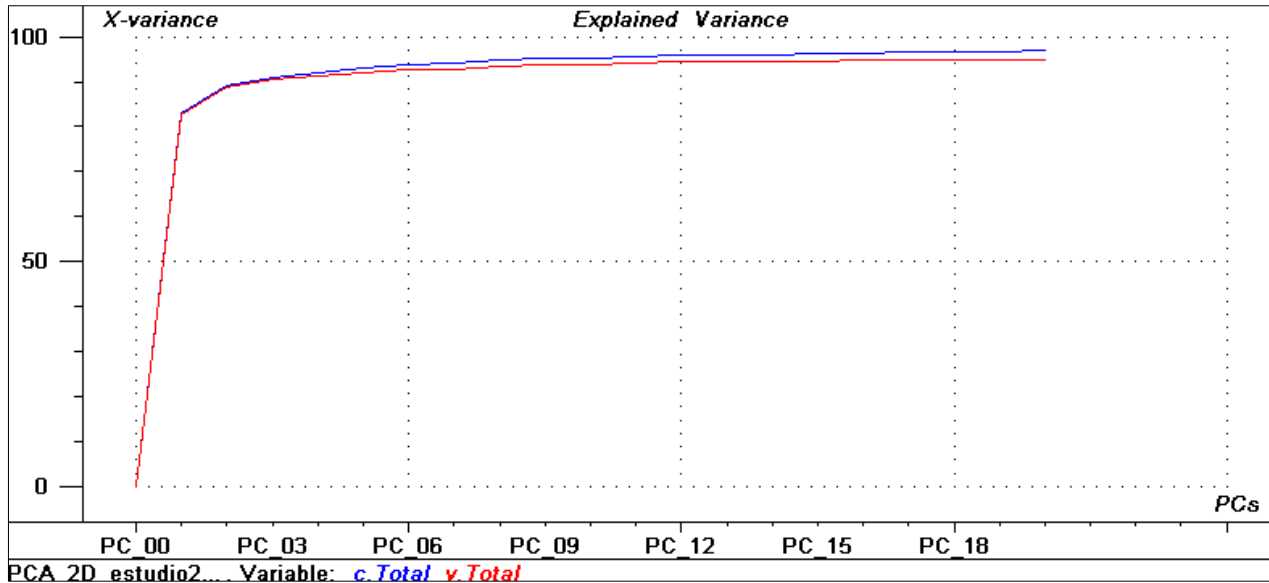


Gráfico 32 Varianza explicada para el estudio 2 (modo segunda derivada)

## Anexo IV. Estudio 3. Fibras naturales: algodón, lino, lana y seda.

### Apdo. A IV.I Registro de 200 muestras de algodón, lino, lana y seda (divida en cuatro partes)

<b>EXPERIMENTO 3 - FIBRAS NATURALES</b>					
<b>Número total de muestras</b>	<b>Número de muestras por grupos</b>	<b>Número de muestras por catálogo</b>	<b>Colores</b>	<b>Tipo de muestra</b>	<b>Código de muestra</b>
1	1	1	Amarillo (AM)	Algodón hilo	C3_AM_3H_28-L7gialloM
2	2	2		Algodón hilo	C3_AR_3H_11_A3aragosaM
3	3	3	Azul claro (AZ-CL)	Algodón hilo	C3_AZ-CL_3H_4-6NcloudsM
4	4	4	Azul oscuro (AZ-OS)	Algodón hilo	C3_AZ-OS_3H_4-7PcosmosEX
5	5	5	Blanco (BL)	Algodón hilo	C3_BL_3H_28-8LmeringaC
6	6	6	Clorofila (CL)	Algodón hilo	C3_CL_3H_7_VLclorofilaS
7	7	7	Crudo (CR)	Algodón hilo	C3_CR_3H_15-R9pannaC
8	8	8	Fucsia (FUC)	Algodón hilo	C3_FUC_3H_11-B5fuxSS
9	9	9	Gris claro (GR-CL)	Algodón hilo	C3_GR-CL_3H_15-BRperlaC
10	10	10	Gris oscuro (GR-OS)	Algodón hilo	C3_GR-OS_3H_15-8NtortoraS
11	11	11	Lila claro (LI-CL)	Algodón hilo	C3_LI-CL_3H_19-87melissaC
12	12	12	Lila oscuro (LI-OS)	Algodón hilo	C3_LI-OS_3H_19-9AcrocusEX
13	13	13	Marrón claro (MA-CL)	Algodón hilo	C3_MA-CL_3H_14-8GpapiroC
14	14	14	Marrón oscuro (MA-OS)	Algodón hilo	C3_MA-OS_3H_14-VGbrownS
15	15	15	Magenta (MG)	Algodón hilo	C3_MG_3H_11_VDmagentaS
16	16	16		Algodón hilo	C3_MN_3H_16_LSmanuelaC
17	17	17	Moka (MO)	Algodón hilo	C3_MO_3H_16_8PmokaEX
18	18	18	Naranja (NA)	Algodón hilo	C3_NA_3H_10-C1papaiSS.
19	19	19	Negro (NE)	Algodón hilo	C3_NE_3H_2-99nero
20	20	20	Ocre (OCR)	Algodón hilo	C3_OCR_3H_16-BANudeM
21	21	21	Pastel (PAS)	Algodón hilo	C3_PAS_3H_16-P2saharaC
22	22	22	Rojo (RJ)	Algodón hilo	C3_RJ_3H_11-L1rossoSS
23	23	23	Rosa (RS)	Algodón hilo	C3_RS_3H_17-1LpinkM
24	24	24	Verde claro (VE-CL)	Algodón hilo	C3_VE-CL_3H_7-TDkiwiM
25	25	25	Verde oscuro (VE-OS)	Algodón hilo	C3_VE-OS_3H_8-AVverdoneS
26	26	1	Sin nombre (SN)	Algodón tejido	C6_AM_3T_F705
27	27	2	Sin nombre (SN)	Algodón tejido	C6_AZ-CL_3T_R84
28	28	3	Sin nombre (SN)	Algodón tejido	C6_AZ-OS_3T_7Q80S
29	29	4	Sin nombre (SN)	Algodón tejido	C6_BL_3T_M01S
30	30	5	Sin nombre (SN)	Algodón tejido	C6_CR_3T_706S
31	31	6	Sin nombre (SN)	Algodón tejido	C6_CR1_3T_B701
32	32	7	Sin nombre (SN)	Algodón tejido	C6_FUC_3T_B67
33	33	8	Sin nombre (SN)	Algodón tejido	C6_GR-CL_3T_M123
34	34	9	Sin nombre (SN)	Algodón tejido	C6_GR-OS_3T_M56S
35	35	10	Sin nombre (SN)	Algodón tejido	C6_LI-CL_3T_A134
36	36	11	Sin nombre (SN)	Algodón tejido	C6_LI-OS_3T_A64S
37	37	12	Sin nombre (SN)	Algodón tejido	C6_MA-CL_3T_G348
38	38	13	Sin nombre (SN)	Algodón tejido	C6_MA-OS_3T_I40
39	39	14	Sin nombre (SN)	Algodón tejido	C6_MAR1_3T_J102S
40	40	15	Sin nombre (SN)	Algodón tejido	C6_NA_3T_E24
41	41	16	Sin nombre (SN)	Algodón tejido	C6_NA1_3T_F532
42	42	17	Sin nombre (SN)	Algodón tejido	C6_NE_3T_M88S
43	43	18	Sin nombre (SN)	Algodón tejido	C6_PAS_3T_G90
44	44	19	Sin nombre (SN)	Algodón tejido	C6_RJ_3T_D71S
45	45	20	Sin nombre (SN)	Algodón tejido	C6_RS_3T_B161
46	46	21	Sin nombre (SN)	Algodón tejido	C6_SAL_3T_E14
47	47	22	Sin nombre (SN)	Algodón tejido	C6_TUR_3T_P710
48	48	23	Sin nombre (SN)	Algodón tejido	C6_VE-CL_3T_L41
49	49	24	Sin nombre (SN)	Algodón tejido	C6_VE-OS_3T_K114
50	50	25	Sin nombre (SN)	Algodón tejido	C6_VER1_3T_K708

51	1	1	Azul	Lino hilo	L3_3H_28
52	2	2	Verde	Lino hilo	L3_3H_203
53	3	3	Crudo	Lino hilo	L3_3H_214
54	4	4	Naranja	Lino hilo	L3_3H_303
55	5	5	Lila	Lino hilo	L3_3H_623
56	6	6	Rosa	Lino hilo	L3_3H_813
57	7	7	Granate	Lino hilo	L3_3H_818
58	8	8	Blanco	Lino hilo	L3_3H_900
59	9	9	Crudo	Lino hilo	L3_3H_902
60	10	10	Vainilla	Lino hilo	L3_3H_907
61	11	11	Naranja	Lino hilo	L3_3H_913
62	12	12	Rojo	Lino hilo	L3_3H_923
63	13	13	Moztaza	Lino hilo	L3_3H_936
64	14	14	Azul	Lino hilo	L3_3H_945
65	15	15	Azul	Lino hilo	L3_3H_949
66	16	16	Negro	Lino hilo	L3_3H_954
67	17	17	Crudo	Lino hilo	L3_3H_2030
68	18	18	Naranja	Lino hilo	L3_3H_2035
69	19	19	Azul	Lino hilo	L3_3H_2058
70	20	20	Negro	Lino hilo	L3_3H_2090
71	21	21	Azul	Lino hilo	L3_3H_2120
72	22	22	Azul	Lino hilo	L3_3H_2121
73	23	23	Marrón	Lino hilo	L3_3H_2176
74	24	24	Verde	Lino hilo	L3_3H_2207
75	25	25	Rosa	Lino hilo	L3_3H_2212
76	26	26	Azul	Lino hilo	L3_3H_2332
77	27	27	Azul	Lino hilo	L3_3H_2470
78	28	28	Il	Lino hilo	L3_3H_2598
79	29	29	Rosa	Lino hilo	L3_3H_2859
80	30	30	Sin nombre	Lino hilo	L3_3H_2863
81	31	31	Sin nombre	Lino hilo	L3_3H_2967
82	32	32	Rojo	Lino hilo	L3_3H_2976
83	33	33	Lila	Lino hilo	L3_3H_3152
84	34	34	Verde	Lino hilo	L3_3H_3194
85	35	35	Naranja	Lino hilo	L3_3H_4072
86	36	36	Verde claro	Lino hilo	L3_3H_4297
87	37	37	Verde oscuro	Lino hilo	L3_3H_4299
88	38	38	MOrado	Lino hilo	L3_3H_4302
89	39	39	Rojo	Lino hilo	L3_3H_4306
90	40	40	Verde	Lino hilo	L3_3H_4307
91	41	1	Sin nombre (SN)	Lino tejido	L3_3T_1-20000
92	42	2	Sin nombre (SN)	Lino tejido	L3_3T_1-26000
93	43	3	Sin nombre (SN)	Lino tejido	L3_3T_2-20000
94	44	4	Sin nombre (SN)	Lino tejido	L3_3T_2-26000
95	45	5	Sin nombre (SN)	Lino tejido	L3_3T_3-26000
96	46	6	Sin nombre (SN)	Lino tejido	L3_3T_2000
97	47	7	Sin nombre (SN)	Lino tejido	L3_3T_4000
98	48	8	Sin nombre (SN)	Lino tejido	L3_3T_Nm2-26000
99	49	9	Sin nombre (SN)	Lino tejido	L3_3T_Nm3-26000
100	50	10	Sin nombre (SN)	Lino tejido	L3_3T_Nm26000

101	1	1	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W1_3T_A3050S
102	2	2	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W1_3T_A3051S
103	3	3	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W1_3T_A3052M
104	4	4	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W1_3T_A3053M
105	5	5	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W1_3T_A3054M
106	6	6	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W1_3T_B3055S
107	7	7	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W1_3T_B3056M
108	8	8	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W1_3T_B3057M
109	9	9	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W1_3T_B3058M
110	10	10	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W1_3T_B3059M
111	11	11	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W1_3T_C3060M
112	12	12	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W1_3T_C3061S
113	13	13	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W1_3T_C3064M
114	14	14	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W1_3T_C3080S
115	15	15	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W1_3T_C3081M
116	16	16	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W1_3T_D3065S
117	17	17	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W1_3T_D3066M
118	18	18	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W1_3T_D3067M
119	19	19	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W1_3T_D3069S
120	20	20	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W1_3T_D3082S
121	21	21	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W1_3T_E3071M
122	22	22	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W1_3T_E3072M
123	23	23	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W1_3T_E3073M
124	24	24	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W1_3T_E3083M
125	25	25	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W1_3T_E3084S
126	26	26	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W1_3T_F3075M
127	27	27	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W1_3T_F3077S
128	28	28	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W1_3T_F3078M
129	29	29	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W1_3T_F3079M
130	30	30	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W1_3T_F3085S
131	31	31	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W2_3T_FREE-J
132	32	32	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W2_3T_FREE-NT
133	33	33	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W2_3T_HARMONY
134	34	34	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W2_3T_HARMONY-J
135	35	35	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W2_3T_HARMONY-NT-1
136	36	36	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W2_3T_HARMONY-NT-2
137	37	37	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W2_3T_SCOUT
138	38	38	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W2_3T_START
139	39	39	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W2_3T_WILD
140	40	40	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W3_3T_MAHARAJA
141	41	41	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W3_3T_NANOCASHMERE
142	42	42	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W3_3T_NEWCASHMERE
143	43	43	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W4_3T_CHARME
144	44	44	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W4_3T_MAESTRO
145	45	45	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W4_3T_MAHARAJA-W4
146	46	46	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W4_3T_NEWCASHMERE-1
147	47	47	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W4_3T_NEWCASHMERE-2
148	48	48	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W4_3T_NEWROYAL-1
149	49	49	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W4_3T_NEWROYAL-2
150	50	50	Sin nombre (SN)	Lana tejido	W4_3T_SUBLIME

151	1	1	Blanco	Seda hilo	S1_3H_1001
152	2	2	Crudo	Seda hilo	S1_3H_1240
153	3	3	Marrón claro	Seda hilo	S1_3H_1241
154	4	4	Marrón claro	Seda hilo	S1_3H_1242
155	5	5	Lila claro	Seda hilo	S1_3H_1246
156	6	6	Lila oscuro	Seda hilo	S1_3H_1247
157	7	7	Rojo	Seda hilo	S1_3H_1248
158	8	8	Granate	Seda hilo	S1_3H_1249
159	9	9	Amarillo	Seda hilo	S1_3H_1251
160	10	10	Verde	Seda hilo	S1_3H_1253
161	11	11	Verde claro	Seda hilo	S1_3H_1254
162	12	12	Verde claro	Seda hilo	S1_3H_1255
163	13	13	Azul claro	Seda hilo	S1_3H_1256
164	14	14	Celeste	Seda hilo	S1_3H_1257
165	15	15	Turquesa	Seda hilo	S1_3H_1259
166	16	16	Azul	Seda hilo	S1_3H_1260
167	17	17	Azul oscuro	Seda hilo	S1_3H_1261
168	18	18	Verde oscuro	Seda hilo	S1_3H_1262
169	19	19	Lila	Seda hilo	S1_3H_1263
170	20	20	Rosa	Seda hilo	S1_3H_1264
171	21	21	Granate	Seda hilo	S1_3H_1265
172	22	22	Lila claro	Seda hilo	S1_3H_1266
173	23	23	Lila claro	Seda hilo	S1_3H_1267
174	24	24	Granate	Seda hilo	S1_3H_1268
175	25	25	Morado	Seda hilo	S1_3H_1269
176	26	26	Gris	Seda hilo	S1_3H_1270
177	27	27	Gris oscuro	Seda hilo	S1_3H_1271
178	28	28	Negro	Seda hilo	S1_3H_5014
179	29	1	Sin nombre (SN)	Seda tejido	S1_3T_42501
180	30	2	Sin nombre (SN)	Seda tejido	S1_3T_42531
181	31	3	Sin nombre (SN)	Seda tejido	S1_3T_42551
182	32	4	Sin nombre (SN)	Seda tejido	S1_3T_42631
183	33	5	Sin nombre (SN)	Seda tejido	S1_3T_42641
184	34	6	Sin nombre (SN)	Seda tejido	S1_3T_42651
185	35	7	Sin nombre (SN)	Seda tejido	S1_3T_42671
186	36	8	Sin nombre (SN)	Seda tejido	S1_3T_42881
187	37	9	Sin nombre (SN)	Seda tejido	S1_3T_Nm1500C
188	38	10	Sin nombre (SN)	Seda tejido	S1_3T_Nm1500CP
189	39	11	Sin nombre (SN)	Seda tejido	S2_3T_Nm1800C
190	40	12	Sin nombre (SN)	Seda tejido	S2_3T_Nm1800CP
191	41	13	Sin nombre (SN)	Seda tejido	S2_3T_Nm3400
192	42	14	Sin nombre (SN)	Seda tejido	S2_3T_Nm4000
193	43	15	Sin nombre (SN)	Seda tejido	S2_3T_Nm4200
194	44	16	Sin nombre (SN)	Seda tejido	S3_3T_13A
195	45	17	Sin nombre (SN)	Seda tejido	S3_3T_14A
196	46	18	Sin nombre (SN)	Seda tejido	S3_3T_14B
197	47	19	Sin nombre (SN)	Seda tejido	S3_3T_14C
198	48	20	Sin nombre (SN)	Seda tejido	S3_3T_14D
199	49	21	Sin nombre (SN)	Seda tejido	S3_3T_14E
200	50	22	Sin nombre (SN)	Seda tejido	S3_3T_14F

Apdo. A IV.II Estudio 3. Gráficos de PCA en modo absorbancia

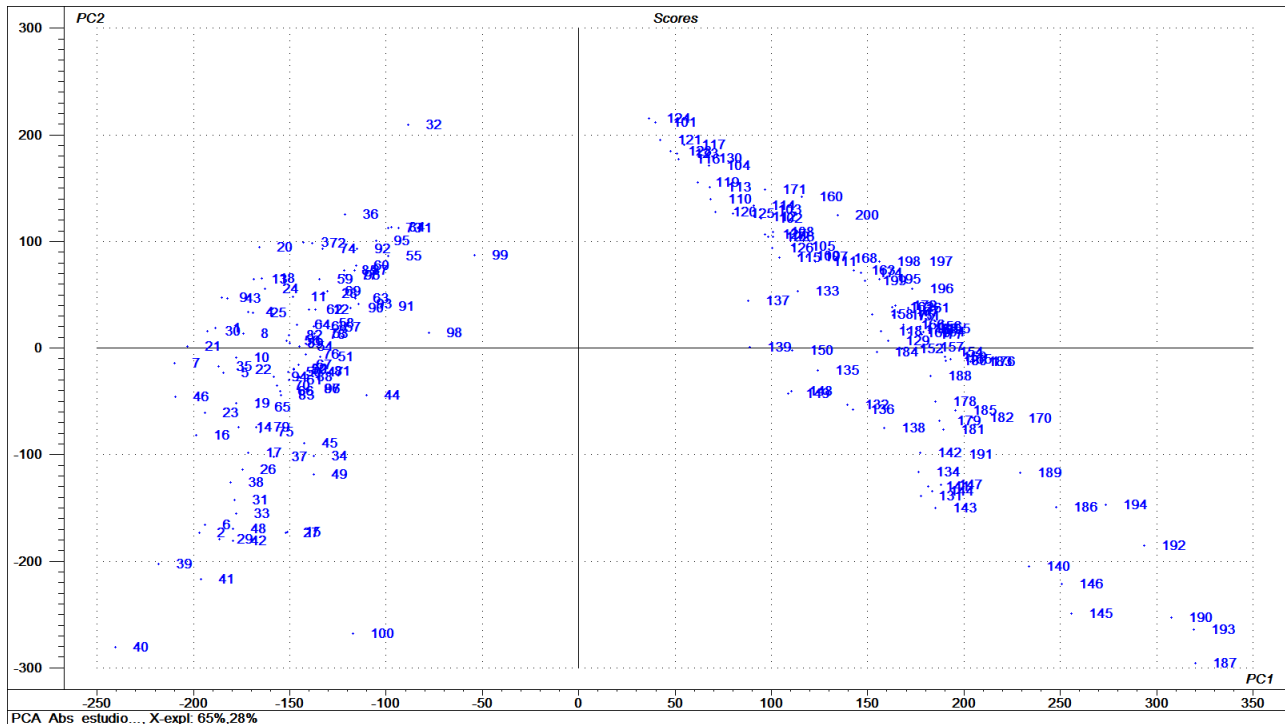


Gráfico 33. Scores para el estudio 3 (modo absorbancia)

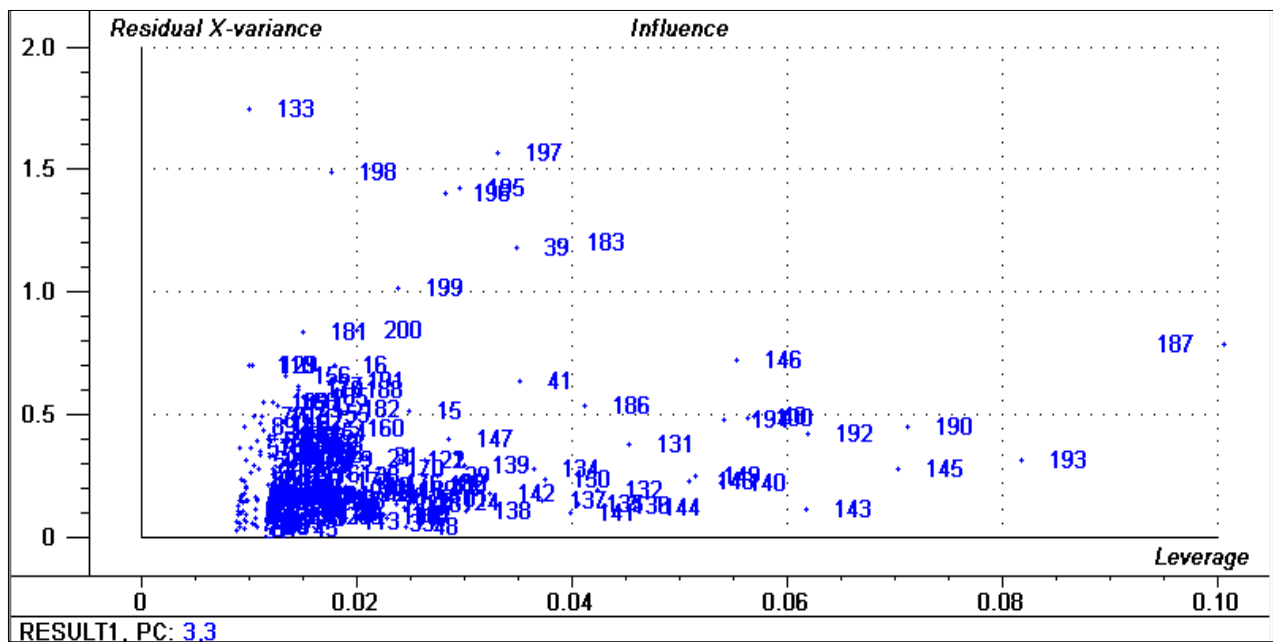
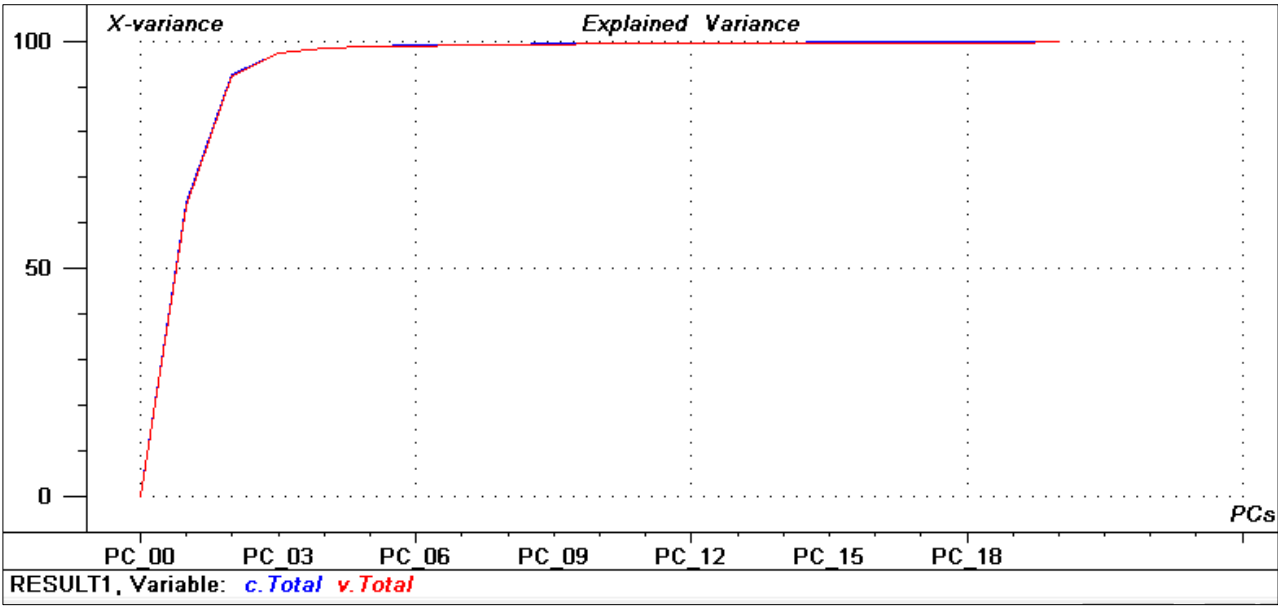
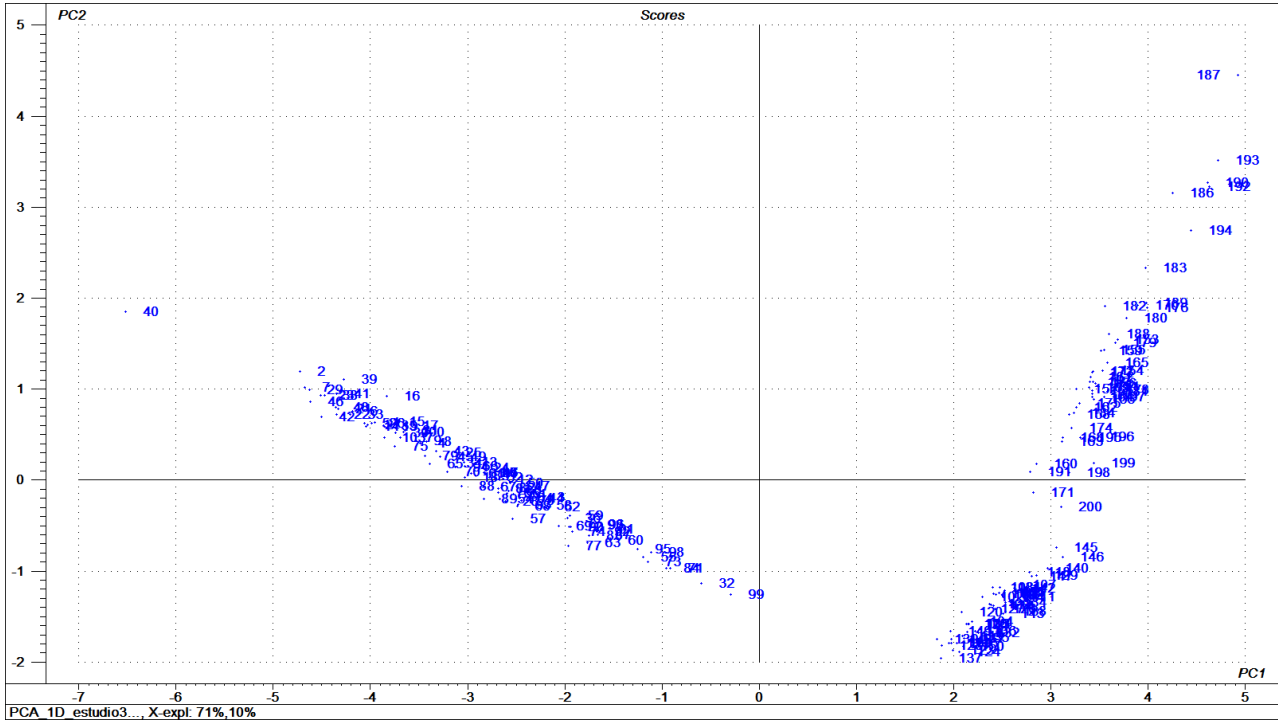


Gráfico 34 Residual vs. leverage para el estudio 3 (modo absorbancia)





Apdo. A IV.III Estudio 3. Gráficos de PCA en modo primera derivada



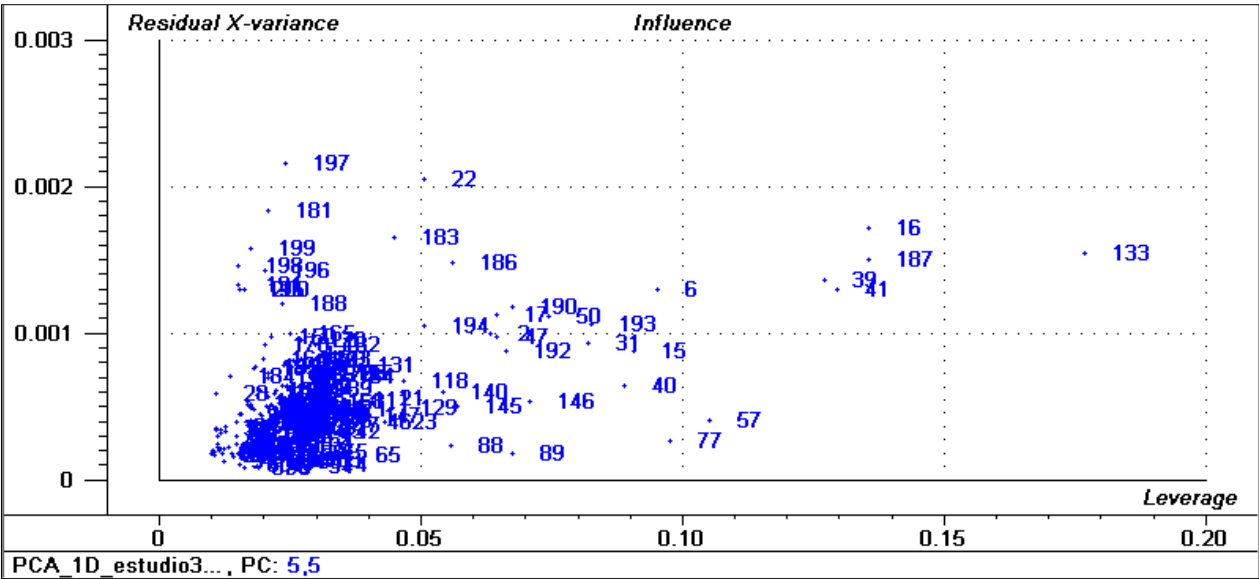


Gráfico 37 Residual vs. leverage para el estudio 3 (modo primera derivada)

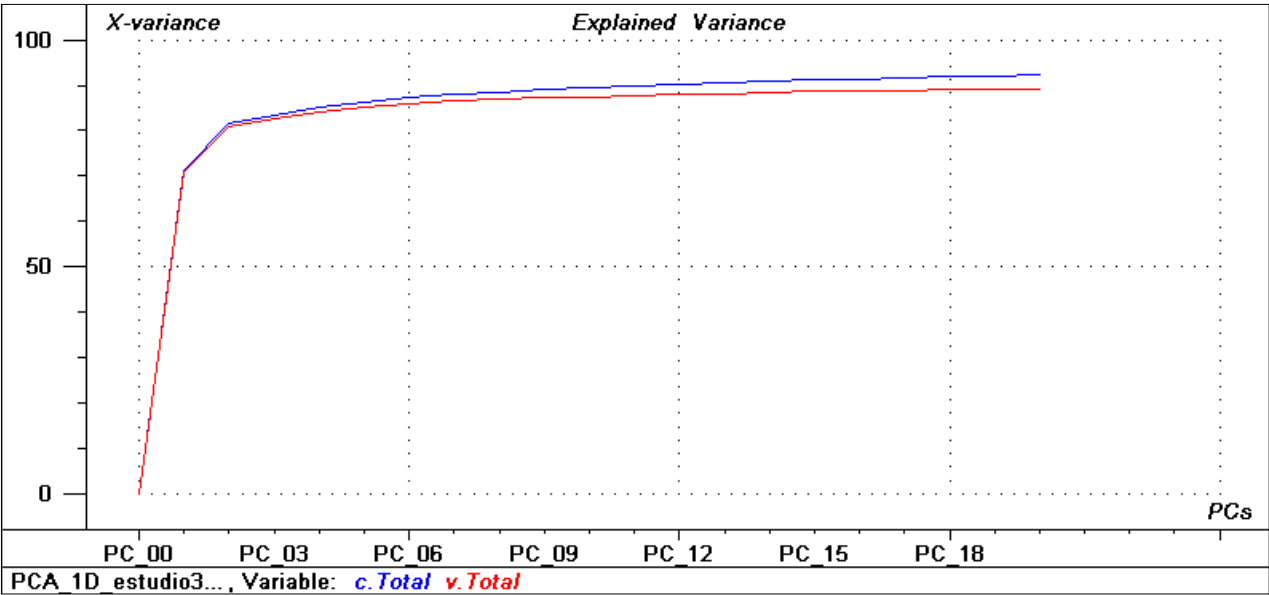


Gráfico 38 Residual vs. leverage para el estudio 3 (modo primera derivada)

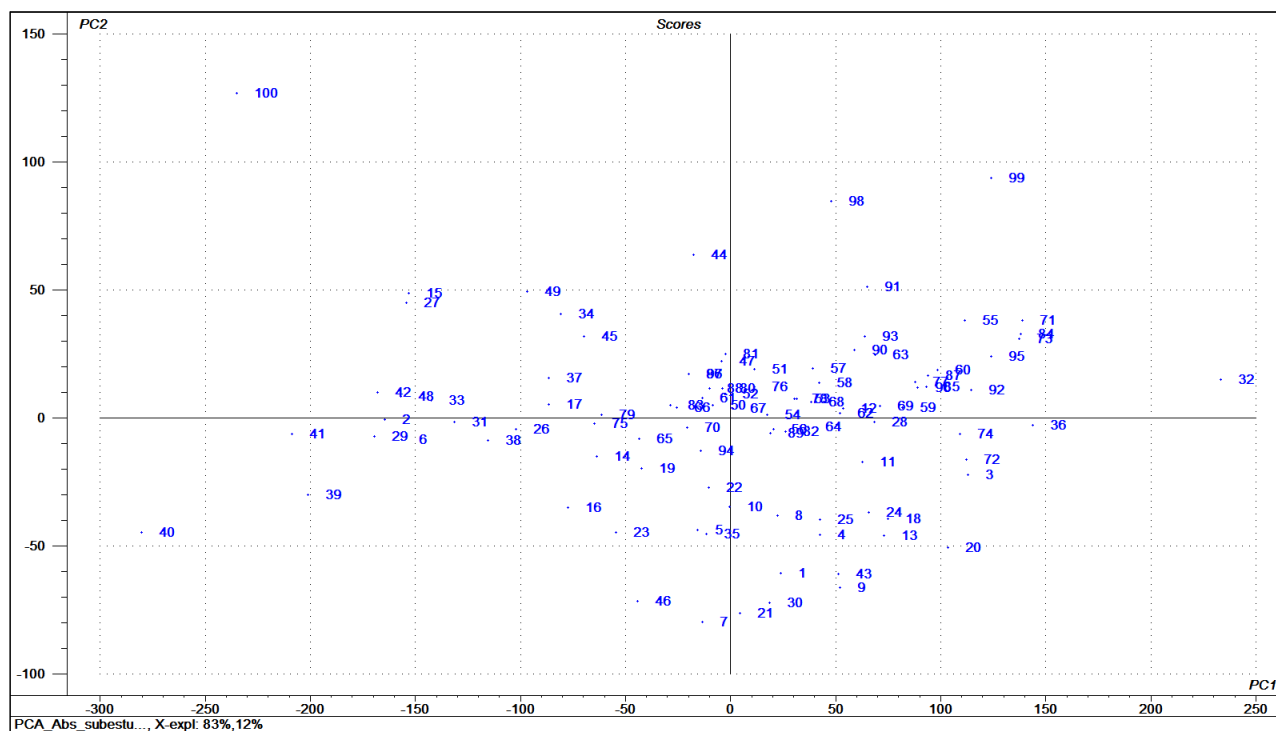
**Apdo. A IV.IV Subestudio 3. Gráficas de PCA en modo absorbancia**


Gráfico 39. Scores para el subestudio 3 (modo absorbancia)

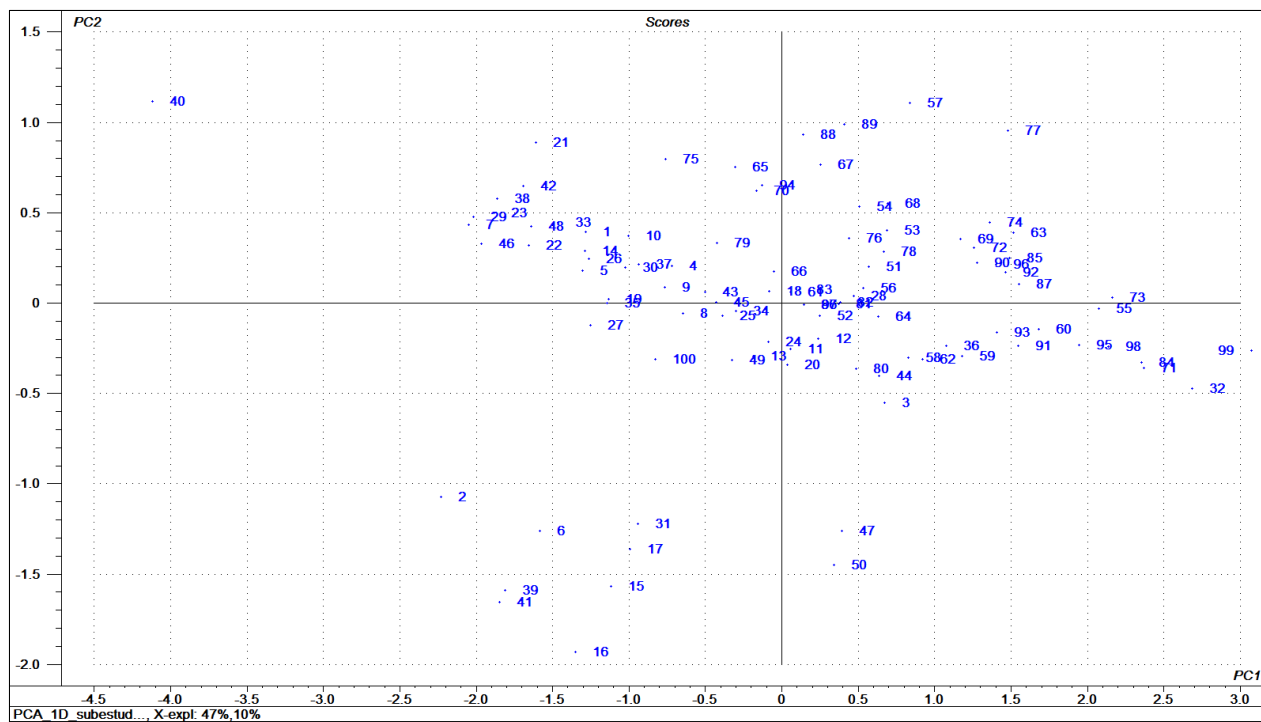
**Apdo. A IV.V Subestudio 3. Gráficas de PCA en modo primera derivada**


Gráfico 40. Scores para el subestudio 3 (modo primera derivada)